

原发性醛固酮增多症诊断中 CXCR4 受体显像的临床应用 专家共识 (2022)

中国医师协会泌尿外科医师分会肾上腺性高血压外科协作组
中华医学会内分泌学分会肾上腺学组
中华医学会核医学分会 PET 学组

通信作者: 张玉石¹, E-mail: zhangyushi@126.com

童安莉², E-mail: tonganli@hotmail.com

霍力³, E-mail: huoli@pumch.cn

中国医学科学院北京协和医院¹ 泌尿外科² 内分泌科³ 核医学科, 北京 100730

【摘要】原发性醛固酮增多症的分型诊断是临床工作的重点和难点, 越来越多的临床证据表明, 靶向 CXCR4 的⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 核素显像可辅助原发性醛固酮增多症的分型。基于国内外最新研究证据, 经多学科专家组深入讨论, 在核素显像方法和结果判读, 以及其对治疗方案的指导和预后评估方面达成了一致意见。本共识为规范国内⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 显像, 提高我国原发性醛固酮增多症诊疗水平提供了重要依据。

【关键词】原发性醛固酮增多症; CXCR4 受体; ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT; 专家共识

【中图分类号】 R586.2+4 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-9081(2022)06-0986-06

DOI: 10.12290/xhyxzz.2022-0584

Consensus on Clinical Application of the CXCR4-targeted Imaging in the Diagnosis of Primary Aldosteronism (2022)

Chinese Urological Doctor Association Adrenal Hypertension Surgery Collaborative Organization
Adrenal Group, Chinese Society of Endocrinology
PET group, Chinese Society of Nuclear Medicine

Corresponding authors: ZHANG Yushi¹, E-mail: zhangyushi@126.com

TONG Anli², E-mail: tonganli@hotmail.com

HUO Li³, E-mail: huoli@pumch.cn

¹Department of Urology, ²Department of Endocrinology, ³Department of Nuclear Medicine, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

【Abstract】 Subtype classification of primary aldosteronism is important but challenging. Increasing evidence has shown that ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT imaging which targets CXCR4 is beneficial to the subtype classification of primary aldosteronism. Based on all the available evidence, and after in-depth discussion of a group of multi-disciplinary experts, a consensus has been established, which covers imaging technology, interpretation of results of CXCR4 imaging, and the guidance to the choice of the treatment and prognosis

基金项目: 中央高水平医院临床科研业务费 (2022-PUMCH-C-028, 2022-PUMCH-B-010); 中国医学科学院创新工程 (2022-I2M-JB-001)

引用本文: 中国医师协会泌尿外科医师分会肾上腺性高血压外科协作组, 中华医学会内分泌学分会肾上腺学组, 中华医学会核医学分会 PET 学组. 原发性醛固酮增多症诊断中 CXCR4 受体显像的临床应用专家共识 (2022) [J]. 协和医学杂志, 2022, 13 (6): 986-991. doi: 10.12290/xhyxzz.2022-0584.

evaluation. The consensus is helpful for standardizing ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT imaging and promoting a better diagnosis procedure in primary aldosteronism.

【Key words】 primary aldosteronism; CXCR4 receptor; ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT; expert consensus

Funding: National High Level Hospital Clinical Research Funding (2022-PUMCH-C-028, 2022-PUMCH-B-010); CAMS Innovation Fund for Medical Sciences (2022-I2M-JB-001)

Med J PUMCH, 2022, 13(6):986-991

原发性醛固酮增多症（下文简称“原醛症”）是指肾上腺皮质自主分泌过量醛固酮，以致肾素-血管紧张素系统活性被抑制，患者出现以高血压伴或不伴低血钾为主要特征的临床综合征^[1]。醛固酮瘤（aldosterone-producing adenoma, APA）和特发性醛固酮增多症（idiopathic hyperaldosteronism, IHA）是原醛症最主要的亚型，分别约占原醛症的 35% 和 60%。其他少见类型包括原发性肾上腺皮质增生、家族性醛固酮增多症、分泌醛固酮的肾上腺皮质癌及异位醛固酮分泌瘤或癌^[2]。原醛症的分型诊断，尤其 APA 与 IHA 的鉴别，一直是原醛症诊疗过程中的重点和难点。

现阶段对于原醛症的分型诊断主要依据肾上腺影像学及肾上腺静脉插管采血（adrenal vein sampling, AVS）判断病灶位置及功能性。CT 是首选的肾上腺影像学检查手段，有助于明确单侧/双侧肾上腺病变及病灶位置。国际指南指出，合并自发性低钾血症、醛固酮明显高分泌且 CT 检查结果符合单侧肾上腺皮质腺瘤的年轻患者（年龄 < 35 岁），可直接手术而无需行 AVS 检测^[1]。国内研究显示，对于伴低钾血症的患者，如 CT 提示单侧孤立性低密度腺瘤（CT 值 < 20 Hu），诊断 APA 的特异度达 95%^[3]。但 CT 易漏诊长径 < 1 cm 的小腺瘤或结节，且该检查不能提供功能信息，无法鉴别分泌醛固酮的功能性病灶和肾上腺无功能瘤。总体而言，CT 对于原醛症分型诊断的准确度为 60%~70%。AVS 被认为是原醛症分型的“金标准”，可明确是否存在单侧优势分泌，其识别优势分泌侧的灵敏度为 95%，特异度为 100%^[4]。但 AVS 属于有创检查，且价格昂贵、需要住院检查、操作难度较大、插管有失败和术后并发症风险，故很难在各级医院大规模开展。此外，目前国内外尚缺乏统一的 AVS 评估标准，不同研究中心在 AVS 操作方式、结果判读方面存在差异；且虽然 AVS 可区分单侧和双侧病变，但单侧醛固酮优势分泌并非 APA 的特异性表现，如单侧肾上腺增生、不对称分泌的双侧肾上腺增生，在 AVS 检测中均可呈现为单侧优势分泌。因此，多方面因素导致 AVS 难以广泛开展。

近年来，国内外相关领域学者一直致力于原醛症分型诊断新方法的探索。越来越多的临床证据表明，靶向 C-X-C 趋化因子受体 4（C-X-C motif chemokine receptor 4, CXCR4）的 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 核素显像有助于原醛症的分型诊断。为进一步规范 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 显像检查，提高我国原醛症诊治水平，经内分泌科、泌尿外科、核医学科、病理科等多学科专家深入讨论，共同制定了《原发性醛固酮增多症诊断中 CXCR4 受体显像的临床应用专家共识（2022）》。

1 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 的显像原理

CXCR4 是一种典型的 G 蛋白偶联受体，主要分布于细胞膜，激活后可刺激细胞迁移与活化，在造血、免疫、炎症及癌症（尤其血液系统来源）调控中发挥关键作用^[5]。近期研究发现，CXCR4 在 APA 细胞膜上呈高表达，且与醛固酮合成酶（CYP11B2）表达水平具有显著相关性^[6-7]，而在无功能腺瘤中则呈低表达。核医学分子探针 ^{68}Ga -Pentixafor 作为 CXCR4 的特异性配体，通过与细胞膜上的 CXCR4 受体特异性结合，在 PET/CT 中提供功能性成像，可为原醛症的分型诊断及临床决策提供简便、直观和有效的参考依据^[7-10]。

2 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 显像的适应证和禁忌证

2.1 适应证

(1) 已确诊原醛症且有手术意愿的患者：①肾上腺 CT 示单侧单个结节时，参考国际指南，除合并自发性低钾血症、醛固酮明显高分泌且 CT 特征符合单侧腺瘤的年轻患者（年龄 < 35 岁）^[1]，以及参考国内研究除血浆醛固酮浓度 ≥ 20 ng/dL、血浆肾素浓度 ≤ 5 $\mu\text{IU/mL}$ 、血钾 ≤ 3.5 mmol/L 且 CT 示肾上腺单侧长径 ≥ 1 cm 结节（对侧正常）的患者外^[11]，均推荐行 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 检查，进一步明确诊断；②肾上腺 CT 示单侧或双侧存在多个结节或增生性病

变时,推荐行 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 检查评估功能偏侧性;③肾上腺 CT 示单侧或双侧结节样增生时,可考虑行 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 检查以鉴别是否存在醛固酮功能腺瘤/结节;④AVS 检查失败或患者拒绝 AVS 检查时,推荐行 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 评估功能偏侧性。

(2) 临床高度疑诊原醛症,但确诊试验不能明确诊断者,推荐行 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 检查以鉴别 CT 所示的肾上腺结节是否具有功能,辅助原醛症的诊断。

(3) 原醛症患者术后出现复发,推荐行 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 检查探寻病因,如发现阳性结节,可权衡手术获益及术后激素分泌减少等风险情况,决定下一步治疗方案。

2.2 禁忌证

(1) 儿童、妊娠期及哺乳期妇女。

(2) 自主行为能力差(如不能平躺)、严重幽闭恐惧症、需进行生命支持的危重症患者等无法配合完成该检查的患者。

(3) 存在其他情况,不适合进行该检查的患者。

3 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 显像检查方法和结果判读

3.1 检查前准备

(1) 检查前签署知情同意书。

(2) 检查前无需禁食,无需停用降压药、补钾药及醛固酮受体拮抗剂等药物。

(3) 检查当日避开增强 CT/MRI、血管介入或其他核医学检查。

(4) 病史采集:包括临床症状、血压(血压水平,高血压病程、分级与危险分层,降压药使用与血压控制情况,是否为难治性高血压等)、血钾(血钾水平,是否低血钾,低血钾病程,补钾药使用及血钾控制情况等)、血/尿生化及激素水平(血钾与血钠,24 h 尿钾与尿钠,血浆醛固酮水平,肾素浓度/肾素活性,血总皮质醇,24 h 尿游离皮质醇,24 h 尿儿茶酚胺等)、原醛症确诊试验结果、肾上腺 CT 结果(病变为双侧/单侧,结节/增生)。此外,需记录患者既往肾上腺手术史、内分泌疾病及其他疾病史。

3.2 药物准备

无菌条件下,首先通过 0.1 mol/L HCl 淋洗 $^{68}\text{Ge}/\text{Ga}$ 发生器获得 $^{68}\text{GaCl}_3$,利用加样枪吸取 1 mL $^{68}\text{GaCl}_3$

与 94 μL 1.25 mol/L 醋酸钠缓冲液混合,调节 pH 至 3.5~4.0;随后加入 20 μg Pentixafor 前体,100 $^{\circ}\text{C}$ 下反应 10 min。反应液室温冷却后,采用无菌水稀释并通过 C18 固相萃取柱(5 mL 无水乙醇活化)进行萃取。采用 0.5 mL 75%乙醇将吸附于 C18 萃取柱上的标记物洗脱,稀释后经 0.22 μm 无菌滤过膜过滤,然后采用 5 mL 以上无菌水稀释,得到 ^{68}Ga -Pentixafor 注射液(保证乙醇含量<10%)。随后进行产品质量控制,质量控制方案需包括使用经过验证的方法进行放射性核素纯度、放射化学纯度、化学纯度(缓冲液、溶剂)以及无菌与内毒素测试的评定。最终产物中 ^{68}Ge 含量应低于 ^{68}Ga 放射性的 0.001%,放射化学纯度>95%。有关 ^{68}Ga -Pentixafor 药物制备及质量控制的详细信息参见《2021 年锗镓发生器及镓标记显像剂临床应用质量标准》。需注意的是,注射 ^{68}Ga -Pentixafor 总质量应小于 50 μg ,此剂量的 ^{68}Ga -Pentixafor 不会产生任何临床上具有显著意义的药理作用。

3.3 检查过程

根据 Directive 96/29/Euratom 和 97/43/Euratom 剂量要求,推荐 ^{68}Ga -Pentixafor 注射剂量范围为 100~200 MBq (2.7~5.4 mCi),注射后 40~60 min 进行 PET/CT 检查(检查前需排空膀胱)。图像采集时,患者取仰卧位,双手置于头顶,采集部位以肾上腺区域为中心,单床位采集即可满足诊断需要。根据临床经验,单床位采集 10 min 可获得较高图像质量。先进行低剂量 CT 扫描,然后采用 3D 模式采集 PET 图像。随后采用快速迭代法重建图像(2 次迭代,10 个有序子集,矩阵尺寸为 192 \times 192 \times 117,体素为 3.147 \times 3.147 \times 1.87 mm³),并采用 Gaussian 滤波进行平滑处理(半宽高 4.5 mm)。

3.4 图像判读

由 2 名具有执业医师资格证和大型设备上岗证的核医学科医师进行结果判读,包括视觉评估与半定量分析 2 个方面。

3.4.1 正常显像剂分布特点

^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 图像上,正常肾上腺与肝脏表现为轻度摄取,脾脏与泌尿系统一般摄取程度较高。正常情况下,肾上腺平均标准摄取值(mean standardized uptake value, SUV_{mean}) 约为 2~4,肝脏 SUV_{mean} 约为 1~3,脾脏 SUV_{mean} 范围跨度较大,一般情况下高于 5。

3.4.2 视觉评估

评估肾上腺病变部位与形态。将肾上腺病灶与邻近肾上腺组织的摄取程度进行对比,阳性病灶考虑为

比对侧及邻近正常的肾上腺组织放射性摄取程度高的肾上腺结节；阴性病灶考虑为摄取程度与对侧及邻近正常的肾上腺组织相似或更低的肾上腺病灶。若双侧肾上腺均表现为弥漫/结节样增粗而无明显正常肾上腺组织，可将增粗部位的放射性摄取程度作为参考，若存在局灶性放射性摄取增高结节，仍可考虑为阳性病灶。

3.4.3 半定量分析

采用后重建软件在肾上腺病灶勾画感兴趣区 (region of interest, ROI)，软件可自动计算病灶的最大标准摄取值 (maximum standardized uptake value, SUV_{max})。此外，需在正常肝脏组织中勾画直径为 20 mm 的 ROI，获取肝脏组织 SUV_{mean} ；在肾上腺病灶对侧正常肾上腺组织中勾画直径为 6 mm 的 ROI，获取正常肾上腺组织 SUV_{mean} ，进而计算肾上腺病灶 SUV_{max} 与正常肝脏 SUV_{mean} 比值 (lesion to liver ratio, LLR) 以及肾上腺病灶 SUV_{max} 与正常肾上腺组织 SUV_{mean} 比值 (lesion to normal adrenal ratio, LAR)。若对侧肾上腺为弥漫/结节样增粗病灶，可勾画非结节样增粗肾上腺区域并计算肾上腺 SUV_{mean} ，以此计算 LAR。

3.4.4 报告描述

(1) 显像方式： ^{68}Ga -Pentixafor 给药活性、注射时间、显像时间及显像区域。

(2) 图像描述：肾上腺病变部位 (左侧、右侧或双侧；内侧支、外侧支或结合部)、病变形态 (结节、弥漫或结节样增粗)、病变大小与 SUV_{max} 、正常肝脏与正常肾上腺 SUV_{mean} ，并计算 LLR 与 LAR。

(3) 诊断结论：①若 CT 表现为等密度或低密度结节且结节长径 ≥ 1 cm， ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 显像视觉评估为阳性病灶时即可诊断为 APA，灵敏度和特异度分别约为 98% 和 88%；如根据半定量指标，分别以 $SUV_{max} \geq 7$ 、 $LLR \geq 2.5$ 、 $LAR \geq 2.4$ 为诊断 APA 的阈值，灵敏度约为 91%、96%、89%，特异度约为 85%、88%、92%^[8]。由于半定量指标受多种因素的影响，上述诊断阈值仅供参考，以视觉评估结果为诊断标准。②若 CT 表现为等密度或低密度结节且结节长径 < 1 cm，推荐以 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 视觉评估为诊断参考，视觉评估为阳性病灶考虑诊断为“APA 可能性大”。③若 CT 表现为双侧肾上腺弥漫增粗， ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 视觉评估无明显阳性病灶，考虑为“IHA 可能性大”，此时可通过 SUV_{max} 值进一步评估功能偏侧性 (双侧基本一致，左侧为著或右侧为著)。④若存在双侧 PET 阳性病灶，可根据双侧结节大小、 SUV_{max} 值进一步评估功能偏侧性 (双

侧基本一致，左侧为著或右侧为著)。

4 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 指导下原醛症的治疗决策

4.1 手术治疗

(1) 肾上腺单发病灶原醛症患者

^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 检查阳性的肾上腺单发病灶原醛症患者首选手术治疗，推荐行腹腔镜单侧肾上腺全切除术或肾上腺肿瘤切除术。结合北京协和医院 59 例 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 指导下手术治疗的单发病灶原醛症患者的随访数据可知，阳性病灶切除后 46% 的患者临床治愈，54% 的患者好转，手术治疗获益率很高。单纯腺瘤切除和单侧腺体全切 2 种术式的疗效尚存争议，有研究显示此 2 种术式的手术预后无统计学差异^[12]，但国内外相关指南通常更倾向于推荐单侧腺体全切术。北京协和医院随访数据表明，对于 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 阳性单发病灶原醛症患者，单纯腺瘤切除安全可行。但对于怀疑存在多发微小腺瘤或增生结节可能性的患者，腺体全切可能更为适宜^[13]。

(2) 肾上腺多发病灶原醛症患者

对于 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 明确提示一侧肾上腺病灶为阳性而对侧肾上腺病灶为阴性，或单侧肾上腺多发阳性病灶而对侧肾上腺正常的原醛症患者，首选治疗方法为手术切除阳性侧腺体，推荐术式为腹腔镜肾上腺全切除术^[14]。

对于 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 检查提示双侧肾上腺均可见阳性病灶的原醛症患者，建议根据病灶大小、数量及 SUV_{max} 值评估两侧病灶阳性程度的差异，必要时可行 AVS，并结合患者具体情况制订个体化治疗策略。可考虑对病灶阳性程度更为显著的一侧肾上腺行腹腔镜肾上腺全切除术，但由于对侧腺体的阳性病灶仍可能具有自主分泌醛固酮的功能，导致患者术后未愈或复发，需进行药物治疗或再次手术切除对侧腺体的阳性病灶。对于仅表现为单发腺瘤样阳性病灶的腺体，也可选择单纯腺瘤切除术，从而保留部分正常腺体。

4.2 药物治疗

对于 ^{68}Ga -Pentixafor PET/CT 检查提示双侧肾上腺多发病灶阳性程度基本一致的原醛症患者，若影像学示双侧腺体呈结节样增粗而非腺瘤样表现，则应考虑为“IHA 可能”，可进一步行 AVS 检测，如确诊为 IHA 则推荐首选药物治疗。对于 ^{68}Ga -Pentixafor PET/

CT检查提示双侧肾上腺多发病灶均为阴性的原醛症患者,手术治疗效果有限,亦推荐首选药物治疗。药物治疗的目标为控制血压,纠正低钾血症,减少靶器官损害风险。目前临床上推荐安体舒通为一线治疗药物,依普利酮为二线治疗药物^[13]。

5 预后评价

5.1 术后随访

术后第1天可停用螺内酯,同时停用或减量使用降压药物,监测血压、血钾水平,指导术后治疗。推荐术后3个月进行首次随访,术后6~12个月进行再次随访,测量血压并检测血钾、内分泌指标等评估患者恢复情况。

PASO (Primary Aldosteronism Surgical Outcomes) 是2016年由31位专家组成的国际学术小组提出的原醛症患者手术预后评价系统,主要包含临床获益评价和生化指标获益评价2个层面^[15],具体描述如下:

(1) 生化指标评价: ①治愈: 血钾及血浆醛固酮/肾素比值 (aldosterone to renin ratio, ARR) 均正常; 或 ARR 仍升高, 但确诊试验中醛固酮水平可被抑制。②好转: 血钾正常, ARR 仍升高, 但血浆醛固酮水平较前下降超过50%或确诊试验结果虽仍未正常但较前改善。③未愈: 血钾仍降低, 和/或 ARR 仍升高, 和/或确诊试验中醛固酮水平未被抑制。

(2) 临床评价: ①治愈: 未应用降压药物的情况下血压正常; ②好转: 降压药物用量较前减少的情况下血压降至正常或大致同前, 或者相同用药条件下血压较前下降; ③未愈: 降压药物用量同前或较前增加, 血压无改善或较前升高。

5.2 ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 检查结果与原醛症临床特征及手术预后的相关性

北京协和医院数据显示原醛症患者病灶 SUV_{max} 值与肾上腺病灶最大径呈正相关, 与术前血钾水平呈负相关; 术后病理结果为肾上腺皮质腺瘤的病灶 SUV_{max} 值明显高于结节样增生; 术后治愈患者术前病灶 SUV_{max} 值明显高于术后好转患者 (21.28±9.34 比 15.77±4.13), 提示病灶 SUV_{max} 值高的原醛症患者手术切除可能具有更好的术后获益^[7]。

6 小结

⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 检查在原醛症的分型诊

断、判断醛固酮功能腺瘤/结节以及功能偏侧性、治疗决策及预后评价等方面具有重要的临床应用价值。由于兼具形态和功能判断的优势且无创、便捷,⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT 检查有望成为一项助力原醛症精准诊治且前景广阔的新技术,一定程度上优于 CT 或 AVS, 但其是否可替代 AVS 还需更多临床研究数据加以验证。目前国内开展此项新技术的医疗机构越来越多, 制订规范检查及结果解读的共识势在必行。本共识基于现有临床证据和经验制订, 随着未来更多高质量临床研究证据的出现, 专家组将对该共识进行更新和完善。

作者贡献: 张玉石、童安莉、霍力牵头制订共识框架, 组建共识制订工作组, 并审阅定稿; 丁洁、郑国洋、高寅洁复习文献, 起草共识初稿; 所有专家组成员参与讨论、修订共识初稿, 并最后定稿; 李启富、张少玲、刘龙飞、朱育春、卢琳、陈适、孟哲参与共识内容的修订。

利益冲突: 所有参与本共识制订的人员均声明不存在利益冲突

专家组 (按姓氏首字母排序)

常晓燕 (北京协和医院病理科), 陈适 (北京协和医院内分泌科), 何勇 (武汉大学中南医院核医学科), 胡硕 (中南大学湘雅医院核医学科), 霍力 (北京协和医院核医学科), 纪志刚 (北京协和医院泌尿外科), 李汉忠 (北京协和医院泌尿外科), 李启富 (重庆医科大学附属第一医院内分泌科), 刘龙飞 (中南大学湘雅医院泌尿外科), 卢琳 (北京协和医院内分泌科), 马晓伟 (中南大学湘雅二医院核医学科), 孟哲 (武汉大学中南医院泌尿外科), 缪蔚冰 (福建医科大学附属第一医院核医学科), 庞华 (重庆医科大学附属第一医院核医学科), 邱玲 (北京协和医院检验科), 童安莉 (北京协和医院内分泌科), 魏强 (四川大学华西医院泌尿外科), 徐浩 (暨南大学附属第一医院核医学科), 曾天舒 (华中科技大学同济医学院附属协和医院内分泌科), 张波 (中日友好医院内分泌科), 张少玲 (中山大学孙逸仙纪念医院内分泌科), 张玉石 (北京协和医院泌尿外科), 赵军 (上海东方医院核医学科), 周颀 (北京协和医院内分泌科), 朱育春 (四川大学华西医院泌尿外科)

执笔人: 丁洁 (北京协和医院核医学科), 郑国洋 (北京协和医院泌尿外科), 高寅洁 (北京协和医院内分泌科)

参 考 文 献

- [1] Funder JW, Carey RM, Mantero F, et al. The Management of Primary Aldosteronism: Case Detection, Diagnosis, and Treatment: An Endocrine Society Clinical Practice Guideline [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2016, 101: 1889-1916.
- [2] Mulatero P, Monticone S, Deinum J, et al. Genetics, prevalence, screening and confirmation of primary aldosteronism: a position statement and consensus of the Working Group on Endocrine Hypertension of The European Society of Hypertension [J]. *J Hypertens*, 2020, 38: 1919-1928.
- [3] Wang H, Wang F, Zhang Y, et al. Surgical Outcomes of Aldosterone-Producing Adenoma on the Basis of the Histopathological Findings [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2021, 12: 663096.
- [4] Mulatero P, Sechi LA, Williams T A, et al. Subtype diagnosis, treatment, complications and outcomes of primary aldosteronism and future direction of research: a position statement and consensus of the Working Group on Endocrine Hypertension of the European Society of Hypertension [J]. *J Hypertens*, 2020, 38: 1929-1936.
- [5] Walenkamp A, Lapa C, Herrmann K, et al. CXCR4 Ligands: The Next Big Hit? [J]. *J Nucl Med*, 2017, 58: 77S-82S.
- [6] Heinze B, Fuss CT, Mulatero P, et al. Targeting CXCR4 (CXC Chemokine Receptor Type 4) for Molecular Imaging of Aldosterone-Producing Adenoma [J]. *Hypertension*, 2018, 71: 317-325.
- [7] Ding J, Zhang Y, Wen J, et al. Imaging CXCR4 expression in patients with suspected primary hyperaldosteronism [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 47: 2656-2665.
- [8] Ding J, Tong A, Zhang Y, et al. Functional Characterization of Adrenocortical Masses in Nononcologic Patients Using (68) Ga-Pentixafor [J]. *J Nucl Med*, 2022, 63: 368-375.
- [9] Ding J, Tong A, Zhang Y, et al. Intense ⁶⁸Ga-Pentixafor Activity in Aldosterone-Producing Adrenal Adenomas [J]. *Clin Nucl Med*, 2020, 45: 336-339.
- [10] Gao Y, Ding J, Cui Y, et al. Functional nodules in primary aldosteronism: identification of CXCR4 expression with (68) Ga-Pentixafor PET/CT [J]. *Eur Radiol*, 2022. doi: 10.1007/s00330-022-09058-x.
- [11] Song Y, Yang J, Shen H, et al. Development and validation of model for sparing adrenal venous sampling in diagnosing unilateral primary aldosteronism [J]. *J Hypertens*, 2022, 40: 1692-1701.
- [12] Fu B, Zhang X, Wang GX, et al. Long-term results of a prospective, randomized trial comparing retroperitoneoscopic partial versus total adrenalectomy for aldosterone producing adenoma [J]. *J Urol*, 2011, 185: 1578-1582.
- [13] 中华医学会内分泌学分会. 原发性醛固酮增多症诊断治疗的专家共识 (2020 版) [J]. *中华内分泌代谢杂志*, 2020, 36: 727-736.
Chinese Society of Endocrinology. Expert consensus on the diagnosis and treatment of primary aldosteronism (2020) [J]. *Zhonghua Neifenmi Daixie Zazhi*, 2020, 36: 727-736.
- [14] Steichen O, Zinzindhoué F, Plouin PF, et al. Outcomes of adrenalectomy in patients with unilateral primary aldosteronism: a review [J]. *Horm Metab Res*, 2012, 44: 221-227.
- [15] Williams TA, Lenders JWM, Mulatero P, et al. Outcomes after adrenalectomy for unilateral primary aldosteronism: an international consensus on outcome measures and analysis of remission rates in an international cohort [J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2017, 5: 689-699.

(收稿: 2022-10-09 录用: 2022-10-25 在线: 2022-11-07)

(本文编辑: 董 哲)