

· 病案分析 ·

利尿剂介入肾动态显像:从原理到实践的核心要点

贾梦瑶 罗亚平

中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院核医学科,北京 100730

通信作者:罗亚平, Email: luoyaping@live.com

基金项目:中央高水平医院临床科研专项项目(2025-PUMCH-D-003)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20251218-00458

Diuretic renal scintigraphy: key points from principles to practice

Jia Mengyao, Luo Yaping

Department of Nuclear Medicine, Peking Union Medical College Hospital, Peking Union Medical College, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China

Corresponding author: Luo Yaping, Email: luoyaping@live.com

Fund program: National High Level Hospital Clinical Research Funding (2025-PUMCH-D-003)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20251218-00458

患者女,64岁,左侧腰背部疼痛10余年,体格检查发现左肾积水及左肾结石1年余,否认排尿不适,尿量正常。平时服用钙片,喜食蔬菜,少量饮奶。体格检查示左肾区轻度叩痛。实验室检查:尿常规提示潜血阳性,白细胞及蛋白均为阴性;血肌酐 51.0(45.0~84.0;括号中为正常参考范围,下同) $\mu\text{mol/L}$,尿素氮 3.19(2.80~7.20) mmol/L ,血钙 2.51~2.68(2.11~2.52) mmol/L 。2024年4月CT尿路造影(CT urography, CTU;图1)提示左侧肾盂-输尿管连接处明显变窄,左侧肾盂肾盏明显扩张积水,左肾可见一高密度结石,长径 9.2 mm,右侧为肾外型肾盂。为明确左肾是否存在尿路梗阻,患者于2024年9月行利尿剂介入 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -二乙撑三胺五乙酸(diethylene triamine pentaacetic acid, DTPA)肾动态显像(图2)。

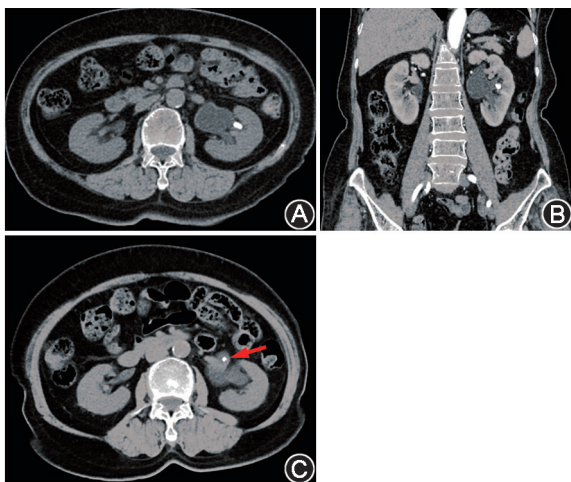


图1 肾积水患者(女,64岁)不同时期CT图 A.平扫横断面(A)和静脉期冠状面图(B)显示,左侧肾盂肾盏明显扩张、积水,左侧肾盂-输尿管连接处变窄;左肾中盏高密度结石;患者治疗后1年复查CT平扫横断面图(C)显示左侧肾盂肾盏扩张积水,左肾盂高密度结石(箭头示)

肾动态显像功能早期见双肾实质摄取尚可,双肾较对称;功能期第4分钟见双肾集合系统显影,至第15分钟见双肾盂示踪剂滞留,以左肾为著。即刻注射呋塞米后,右肾盂

内示踪剂迅速排出;左肾集合系统内放射性亦逐渐排出。肾图曲线显示,右肾在排泄段迅速下降;左肾在15 min注射呋塞米后,曲线亦逐渐下降,下降幅度与速度均低于右肾。

尿路梗阻是指尿液沿泌尿通路流动受阻,一般在影像学上表现为肾积水。尿路梗阻可分为急性或慢性、部分性或完全性、单侧或双侧。梗阻发生后,由于肾小球滤过和尿液生成持续进行,梗阻近端压力升高,导致集合系统扩张;压力传回近端小管,进而降低肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR)。一般而言,若能及时解除梗阻,其引起的肾功能损伤是可逆的;反之则可能导致进行性肾功能损伤和终末期肾病。梗阻可发生于泌尿道的任何部位,常见病因包括结石、肿瘤压迫、先天性狭窄等物理性因素。肾内梗阻可引起单个或多个肾盏扩张,而肾盂或输尿管梗阻可引起广泛的肾盏肾盂扩张以及上游水平的输尿管扩张。本例患者功能期图像显示左肾盏及肾盂广泛扩张伴示踪剂滞留,输尿管未见明显显影,符合肾盂-输尿管连接部狭窄所致的肾积水表现,与CTU结果一致。

肾积水的严重程度(即肾盂、肾盏和输尿管的扩张程度)并不一定与尿路梗阻的程度相关,尤其在急性期,重度的尿路梗阻可因肾功能迅速恶化而仅表现为轻度肾积水甚至无积水;反之,无梗阻的正常肾脏有时也可能呈现轻度肾积水。因此,临床上需准确判断是否存在梗阻以及梗阻的水平,以决定是否干预及选择干预方式。利尿剂介入肾动态显像即为评估上尿路梗阻的常用检查。

利尿剂介入肾动态显像可以区分机械性尿路梗阻与非梗阻性尿路扩张(即正常肾脏的“肾积水”)。其原理在于:非梗阻性尿路扩张在应用利尿剂后,短时间内尿量明显增多、流速速率加快,积聚在集合系统中的放射性尿液可迅速排出;而机械性梗阻时,尽管流速速率因利尿作用而增加,但由于梗阻未解除,集合系统内聚集的示踪剂仍无法有效排出。利尿剂介入肾动态显像的阅片并不复杂,但其技术操作和结果判读涉及很多方面,需要医师掌握。

(1)患者检查前准备。检查前需充分水化。除检查当日正常饮水外,应在检查前30~60 min内,按体质量额外饮水5~

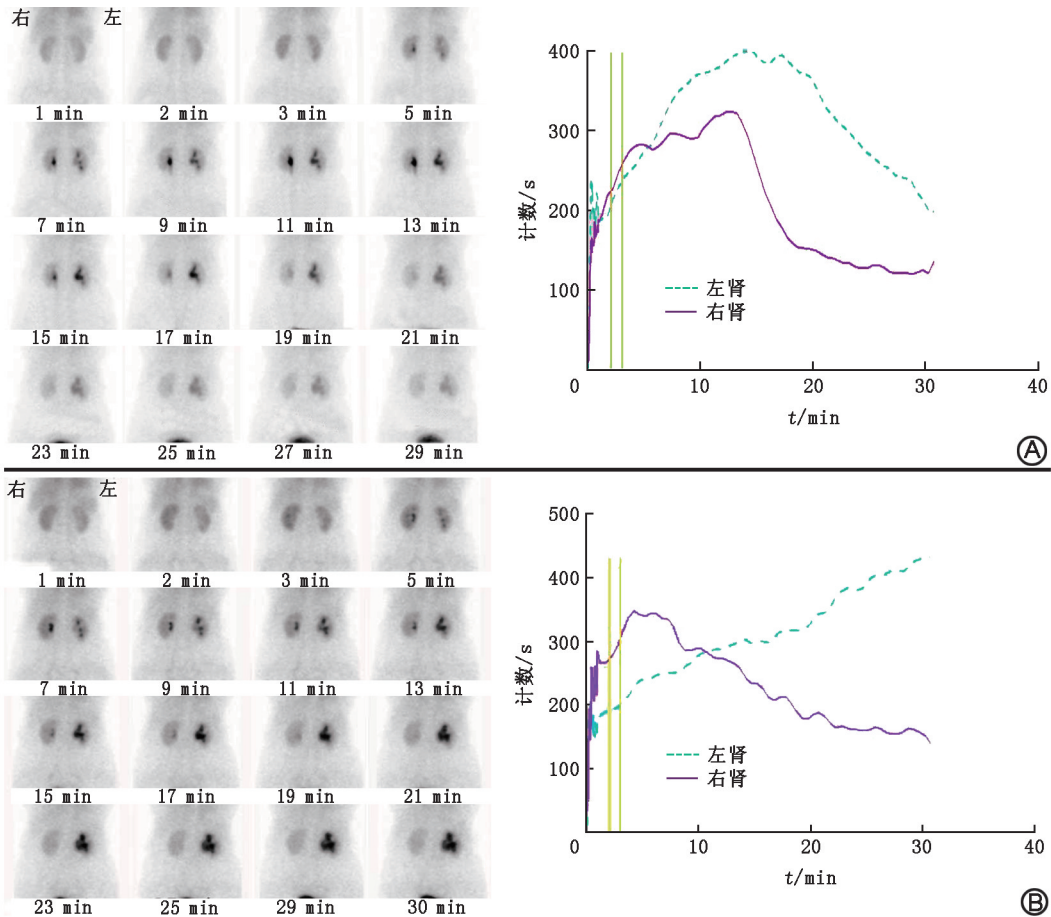


图 2 肾积水患者(女,64 岁)不同时期利尿剂介入⁹⁹Tc^m-二乙撑三胺五乙酸(DTPA)肾动态显像图 A.功能期 1~15 min 双肾盂见示踪剂滞留,左肾为著;15 min 注射呋塞米后,右肾盂内示踪剂迅速排出,左肾集合系统内放射性亦逐渐排出。肾图曲线示 15 min 后右肾排泄段迅速下降(实线),左肾排泄段亦逐步下降(虚线);B.治疗后 1 年复查功能期 1~15 min 左肾盂见示踪剂滞留;15 min 注射呋塞米后,左肾盂放射性继续增加。左肾肾图曲线呈持续上升型(虚线)

10 ml/kg^[1]。充分水化对利尿剂介入肾动态显像尤为重要,水化不足会导致肾脏排泄示踪剂减慢,表现为肾图曲线高峰后移、排泄段平坦甚至持续上升,影响结果判读。值得注意的是,水化不充分(生理状态下轻度脱水)并不影响利用⁹⁹Tc^m-DTPA 进行肾动态显像计算 GFR,这与肾脏生理相吻合,肾脏可通过自身调节机制在一定血压波动范围内维持肾脏血流和 GFR 稳定^[2-3]。此外,检查当日需停用其他利尿剂,以保证水化状态。检查前需排空膀胱,以免膀胱过度充盈影响上尿路排泄。同样,若患者留置导尿管,则需保持尿管开放,以免膀胱压力增高造成假阳性。

(2) 示踪剂的选择。肾动态显像常用示踪剂包括⁹⁹Tc^m-DTPA、⁹⁹Tc^m-巯基乙酰三甘氨酸(mercaptoacetyltriglycine, MAG3)及¹²³I/¹³¹I-邻碘马尿酸等。其中,⁹⁹Tc^m-DTPA 为肾小球滤过型示踪剂,后两者为肾小管分泌型示踪剂。⁹⁹Tc^m-DTPA 完全经肾小球滤过,可用于分肾 GFR 测定及尿路梗阻评估,但在肾血流灌注不足或肾功能下降时,其动力学表现较差,可能导致结果不准确。相比之下,肾小管分泌型示踪剂的肾脏摄取率更高(⁹⁹Tc^m-MAG3 的肾脏提取率为 40%~50%,约为⁹⁹Tc^m-DTPA 的 2 倍以上^[1]),图像质量更优,且受血流灌注和肾功能影响更小,因此行利尿剂介入肾动态显像时应首选此类药物。但由于多种原因,目前国内仍普遍使用⁹⁹Tc^m-

DTPA。

(3) 利尿剂的使用方法及最佳注射时间。呋塞米是最常用的利尿剂,属于强效袢利尿剂,通过抑制肾小管髓袢升支粗段对钠离子和氯离子的重吸收,增加水分排泄。静脉注射呋塞米后 3~5 min 起效,15~18 min 作用达峰,药效可持续 2 h^[4]。美国核医学与分子影像学会(Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, SNMMI)/欧洲核医学协会(European Association of Nuclear Medicine, EANM)指南推荐成人静脉注射呋塞米的剂量为按体质量 0.5 mg/kg(婴儿为 1 mg/kg)或固定剂量 40 mg,此剂量可使肾功能正常的成人达到最佳利尿效果^[5]。对于肾功能下降的患者,剂量可增加至 80 mg,但需警惕高剂量呋塞米可能引发严重低血压的风险,尤其是老年或体质虚弱的患者。

示踪剂与利尿剂的给药时间有 3 种经典方案:F-15(示踪剂给药前 15 min 注射呋塞米)、F=0(示踪剂与呋塞米同时注射)和 F+20(示踪剂给药后 20 min 注射呋塞米)。F-15 方案基于呋塞米给药后 15~18 min 作用达峰的原理设定^[4],高流速尿率更有利于区分尿路梗阻与非梗阻,有效克服肾盂扩张导致的“容器效应”所引起的排泄缓慢^[6],但该方案会使部分患者因尿意急迫无法坚持完成检查。F+20 采集方案可分两步,第一步常规采集 20 min 肾动态显像,第二步注射呋

塞米后继续采集 15 或 20 min,若第一步采集时肾图排泄段正常,则终止检查。F=0 方案则综合前两者,缩短了整个检查时间,并提高了患者舒适度,尤其适用于小儿患者。上述 3 种方案中,仅 F+20 方案可以观察到自然状态下肾脏集合系统的充盈与排泄动力学变化。当患者存在肾功能不全时,F-15 与 F=0 方案可能仅显示肾实质摄取逐渐增加,而集合系统尚未充分填充,此时肾图曲线可能持续上升,难以区分是否存在梗阻;此时 F+20 方案可加以鉴别。此外,若怀疑存在尿路梗阻,常规采集结束后,应在患者排尿后再额外采集静态图像,且推荐坐位采集,以避免因重力作用或膀胱过度充盈等导致的假阳性结果^[7]。

(4) 肾脏 ROI 的选择。肾动态显像 ROI 勾画有 3 种方式:全肾 ROI、肾实质 ROI 和肾盂 ROI。临床通常采用全肾,其生成的肾图曲线同时包含肾实质及集合系统中示踪剂的滞留信息。若为上升型曲线,可能提示尿路梗阻,也可能是肾功能不全所致肾实质摄取缓慢增加,此时需结合功能期显像图加以鉴别。而肾盂 ROI 仅包括集合系统,其肾图曲线可以更好地反映集合系统对利尿剂的反应。

(5) 结果判读。正常肾图曲线分为示踪剂出现段、浓聚段和排泄段。以 F+20 方案为例,一般注射利尿剂时已处于排泄段。根据肾图曲线的排泄模式,可将其分为 4 型^[8,9]: I 型为正常,利尿剂注射前或后排泄曲线快速下降; II 型初始肾图异常,注射利尿剂后排泄曲线不下降,提示存在较严重的梗阻; III 型初始肾图异常,但注射利尿剂后排泄曲线下降,若下降明显(III a 型),提示不存在尿路梗阻,初始异常是由肾盂肾盏的扩张带来的“容器效应”导致(示踪剂填充扩张的肾盂时间延长,在图像上呈现滞留,曲线持续上升),而通过利尿剂增加尿液流速,缩短了从填充至排出的时间,肾图曲线下降;若注射利尿剂后肾图排泄曲线有下降但相对平缓(III b 型;图 3),则提示可能存在一定程度的尿路梗阻,且这种梗阻可被增加的尿流率部分克服,但又不能完全消除;IV 型(图 4)注射利尿剂后排泄曲线先下降,后趋于平缓甚至上升,呈双峰或多峰,提示可能存在间断性肾积水,如不及时干预可能演变为持续性梗阻并导致肾功能损伤^[10]。

肾图曲线的定量参数可为判断尿路梗阻提供辅助参考。半排时间($T_{1/2}$)指肾脏 ROI 放射性计数从峰值下降 50% 所需的时间。正常的 $T_{1/2}$ 为 5~10 min;若 $T_{1/2} < 10$ min,基本可

排除尿路梗阻;若 $T_{1/2} > 20$ min,则提示很可能存在梗阻; $T_{1/2}$ 为 10~20 min 时属于不确定,需结合功能期图像、肾功能等临床资料综合判断。如前所述,选择肾盂 ROI 计算 $T_{1/2}$ 可更好地反映集合系统对利尿剂的反应。与全肾 ROI 相比,肾盂 ROI 得出的 $T_{1/2}$ 能更好地区分尿路梗阻与非梗阻,尤其可避免因肾功能受损导致肾实质内示踪剂滞留所引起的假阳性。此外,也可采用利尿剂介入后 20 min 或排尿后肾脏 ROI 计数与峰值计数的比值(反映利尿剂介入后肾脏示踪剂滞留率)来判断是否存在梗阻,该指标可能较 $T_{1/2}$ 具有更好的可重复性^[1]。

在判读结果时,应避免用单一定量指标,应结合功能期图像、肾图曲线、定量参数、肾功能及其他影像学等进行综合判断。例如,当肾功能不全(尤其 $GFR < 15 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.72 \text{ m}^{-2}$)时,一方面肾小球功能受损影响⁹⁹Tc^m-DTPA 的滤过,导致集合系统填充时间延迟;另一方面肾小管对呋塞米的反应性下降,可能达不到理想的尿液流率增加效果,可能出现肾图排泄曲线无反应的假阳性结果。此外,SNMMI/EANM 指南指出,应避免使用“部分梗阻”这一表述,尤其在不确定是否存在梗阻的情况下^[1]。

本例患者右肾肾图曲线为 I 型, $T_{1/2}$ 为 5.5 min,功能期图像可见右肾盂内示踪剂聚集、排出,因此判断右肾功能正常。左肾肾图曲线为 III a 型, $T_{1/2}$ 为 16.5 min(全肾 ROI),功能期图像显示在注射利尿剂后左肾盂内示踪剂明显排出,故考虑患者虽存在左肾盂-输尿管连接部狭窄,但未导致明显的尿路梗阻。CT 见左肾盏结石,但其并非导致肾盂-输尿管连接部狭窄的原因。患者于 2024 年 11 月行经尿道输尿管镜激光碎石取石术,术中见结石位于左肾中盏,术后结石成分分析为草酸钙及磷灰石。术后患者症状好转,但 1 年后再次出现腰痛症状。复查 CT 提示左侧肾盂-输尿管连接处狭窄,左肾盂肾盏扩张积水较前略加重,原左肾盏内结石未见,新见左肾盂 4 mm 结石(图 1C)。患者再行利尿剂介入肾动态显像(图 2B),可见左肾盂肾盏内大量示踪剂滞留,肾图曲线呈持续上升型,15 min 注射利尿剂后曲线继续上升,呈 II 型曲线,提示左肾存在尿路梗阻。结合 CT,考虑新发左肾尿路梗阻与术后再次形成的左肾盂结石有关,CT 见该结石位于左肾盂-输尿管连接部,导致左肾尿路梗阻。

利尿剂介入肾动态显像是核医学一项独具特色的功能

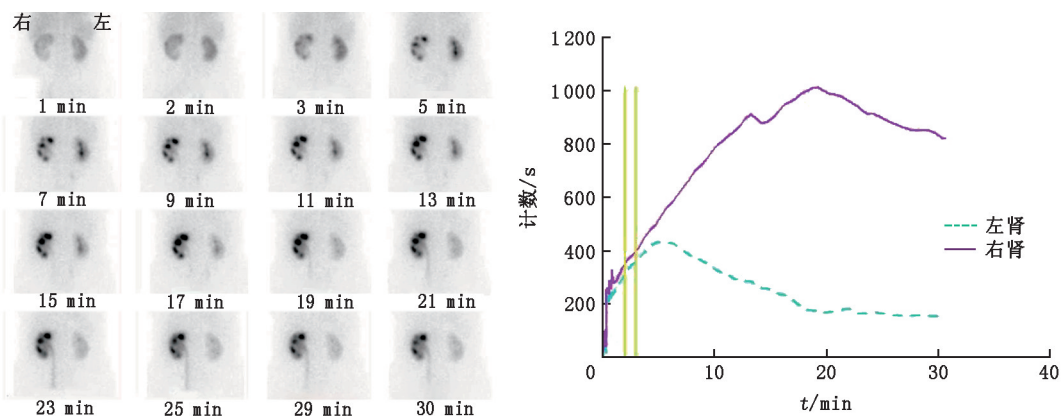


图 3 肾积水患者(女,38 岁)利尿剂介入⁹⁹Tc^m-二乙撑三胺五乙酸(DTPA)肾动态显像图 功能期 1~15 min 右肾集合系统见示踪剂滞留;15 min 注射呋塞米后,右肾盂内放射性缓慢排出。肾图曲线显示 15 min 后右肾排泄段下降相对平缓(实线)

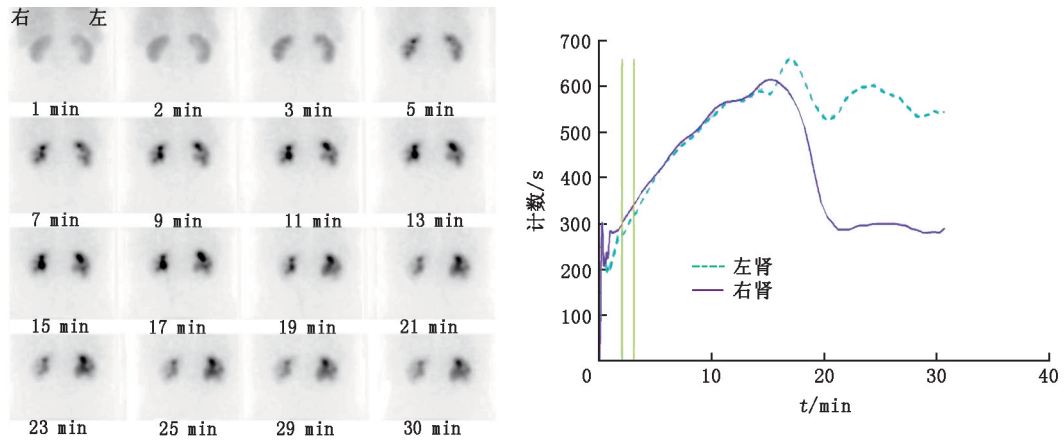


图 4 肾积水患者(女,24 岁)利尿剂介入⁹⁹Tc^m-二乙撑三胺五乙酸(DTPA)肾动态显像图 功能期 1~15 min 双肾集合系统见示踪剂滞留;15 min 注射呋塞米后,右肾盂内示踪剂迅速排出,左肾集合系统仍见较多示踪剂滞留。肾图曲线显示 15 min 后右肾排泄段迅速下降(实线),左肾排泄段先下降随后再次上升,呈双峰状(虚线)

显像技术,其原理经典,操作简便,在核医学新技术层出不穷的今天,该技术仍保持着重要的临床地位,在尿路梗阻的临床诊疗中发挥着不可替代的作用。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 贾梦瑶:研究实施、数据采集、论文撰写;罗亚平:研究指导、论文修改

参 考 文 献

[1] Taylor AT, Brandon DC, de Palma D, et al. SNMMI procedure standard/EANM practice guideline for diuretic renal scintigraphy in adults with suspected upper urinary tract obstruction 1.0[J]. Semin Nucl Med, 2018, 48(4): 377-390. DOI:10.1053/j.semnuclmed.2018.02.010.

[2] Jung HS, Chung YA, Kim EN, et al. Influence of hydration status in normal subjects: fractional analysis of parameters of Tc-99m DTPA and Tc-99m MAG3 renography[J]. Ann Nucl Med, 2005, 19(1): 1-7. DOI:10.1007/BF02986328.

[3] 贾琛皓,罗亚平.卡托普利介入肾血流及功能显像两例[J].中华核医学与分子影像杂志, 2020, 40(10): 618-620. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200920-00351.

Jia CH, Luo YP. Captopril renography for detecting renovascular hypertension: two case reports[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2020, 40(10): 618-620. DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20200920-00351.

[4] O'Reilly PH. Diuresis renography. Recent advances and recommended protocols[J]. Br J Urol, 1992, 69(2): 113-120. DOI: 10.1111/j.1464-410x.1992.tb15479.x.

[5] Blaufox MD, De Palma D, Taylor A, et al. The SNMMI and EANM practice guideline for renal scintigraphy in adults[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2018, 45(12): 2218-2228. DOI: 10.1007/s00259-018-4129-6.

[6] Taghavi R, Ariana K, Arab D. Diuresis renography for differentiation of upper urinary tract dilatation from obstruction: F+20 and F-15 methods[J]. Urol J, 2007, 4(1): 36-40.

[7] Tartaglione G, D'Addressi A, De Waure C, et al. ^{99m}Tc-MAG3 diuretic renography in diagnosis of obstructive nephropathy in adults: a comparison between F-15 and a new procedure F+10(sp) in seated position[J]. Clin Nucl Med, 2013, 38(6): 432-436. DOI:10.1097/RLU.0b013e31828da3f5.

[8] Homsy YL, Mehta PH, Huot D, et al. Intermittent hydronephrosis: a diagnostic challenge [J]. J Urol, 1988, 140(5 Pt 2): 1222-1226. DOI:10.1016/s0022-5347(17)42007-6.

[9] O'Reilly PH, Testa HJ, Lawson RS, et al. Diuresis renography in equivocal urinary tract obstruction[J]. Br J Urol, 1978, 50(2): 76-80. DOI:10.1111/j.1464-410x.1978.tb03030.x.

[10] Alam S, Parveen R, Reza S, et al. Homsy's sign in DTPA renogram—initial experience at NINMAS[J]. Bangladesh J Nucl Med, 2024, 27(1): 21-24. DOI:10.3329/bjnm.v27i1.71511.

(收稿日期:2025-12-18)