

# 肾动态显像在无功能肾切除中的应用研究

李红安 马洪卫 侯 艳

宁夏石嘴山市第一人民医院 宁夏 石嘴山 753600

**摘要：**目的：探讨肾动态显像（RenalDynamicImaging, RDI）在无功能肾（Non-functioningKidney, NFK）诊断及评估中的临床价值，及其在指导无功能肾切除术决策中的应用意义。方法：回顾性分析2018年1月至2024年12月期间于我院就诊并拟行肾切除术的46例疑似无功能肾患者的临床资料。所有患者术前均接受肾动态显像（采用 $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA或 $^{99m}\text{Tc}$ -MAG3显像剂）、静脉尿路造影（IVU）、CT尿路成像（CTU）及肾功能实验室检查。以术后病理及长期随访结果为金标准，比较不同检查方法对无功能肾的诊断效能，并分析肾动态显像参数（如GFR分肾值、肾图曲线形态）与术后并发症、对侧肾代偿性增生之间的相关性。结果：46例患者中，术后确诊为无功能肾者41例，非无功能肾者5例。肾动态显像诊断无功能肾的敏感度为95.1%（39/41），特异度为80.0%（4/5），准确率为93.5%（43/46），显著优于IVU（敏感度70.7%，特异度60.0%）和CTU（敏感度78.0%，特异度60.0%）（ $P < 0.05$ ）。肾动态显像显示分肾GFR  $< 5\text{mL/min}$ 或肾图呈低平/无显影型者，术后并发症发生率显著降低（ $P < 0.01$ ）。此外，术前对侧肾GFR  $> 45\text{mL/min}$ 者，术后6个月对侧肾代偿性GFR增长显著（ $P < 0.001$ ）。结论：肾动态显像在无功能肾的精准诊断、术前功能评估及手术决策中具有不可替代的临床价值。其不仅能客观量化分肾功能，还能预测术后肾功能代偿潜力及手术安全性，是无功能肾切除术前不可或缺的影像学检查手段。

**关键词：**肾动态显像；无功能肾；肾切除术；分肾功能； $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA；肾小球滤过率

## 引言

无功能肾（NFK）指肾脏因多种病因严重受损，丧失基本生理功能。常见病因包括慢性肾盂肾炎、肾结核等。无功能肾不仅失去生理功能，还可能引发感染、高血压等，威胁患者生命。外科切除术是有效治疗手段之一。但无功能肾诊断不易，传统影像学检查在评估肾脏实际功能上存在局限，仅凭解剖影像学结果行肾切除术，可能误切尚有功能的肾脏，对患者造成不可逆损害<sup>[1]</sup>。在此背景下，肾动态显像（RDI）因能无创、定量、动态评估分肾功能，成为无功能肾术前评估“金标准”之一。RDI通过注射放射性核素示踪剂，生成肾图并计算分肾GFR或ERPF，为外科医生提供决策依据。然而，RDI在无功能肾切除术前评估中的具体应用价值等仍缺乏大规模临床研究支持，不同显像剂效能差异也存在争议。因此，本研究旨在通过回顾性分析本院近五年拟行肾切除术的疑似无功能肾患者的临床资料，系统评价肾动态显像在无功能肾诊断、术前功能评估及手术决策中的应用价值，以期为临床实践提供循证依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

本研究为回顾性队列研究，纳入2018年1月至2024年

12月期间于我院泌尿外科就诊并拟行肾切除术的46例疑似无功能肾患者。纳入标准：（1）影像学提示单侧肾脏严重萎缩、肾盏破坏、重度积水或钙化；（2）临床症状包括反复腰痛、发热、高血压或脓尿；（3）术前完成肾动态显像、IVU、CTU及血肌酐、尿素氮等肾功能检查；（4）接受肾切除术并有完整病理及术后随访资料。排除标准：（1）双侧肾功能不全（ $\text{eGFR} < 30\text{mL/min/1.73m}^2$ ）；（2）合并严重心、肝、肺功能障碍无法耐受手术；（3）术前接受过肾动脉栓塞等介入治疗；（4）资料不全或失访。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 影像学检查

肾动态显像（RDI）：采用GEDIscoveyNM/CT670SPECT/CT仪。患者空腹，饮水300–500mL后取坐位或仰卧位。静脉“弹丸式”注射 $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA（370MBq）或 $^{99m}\text{Tc}$ -MAG3（185MBq）<sup>[2]</sup>。立即启动动态采集：血流相（1帧/秒，60秒），功能相（1帧/分，20分钟）。采用Gates法计算分肾GFR（DTPA）或ERPF（MAG3）。肾图曲线分为A（血管段）、B（分泌/滤过段）、C（排泄段）三段。无功能肾定义为：分肾GFR  $< 5\text{mL/min}$ ，且肾图呈低平型（B段无上升）或无显影型。

静脉尿路造影（IVU）：常规方法，于注射造影剂后5、15、30分钟及必要时延迟摄片。无功能肾定义为：患

**项目名称：**肾动态显像在无功能肾切除中的应用研究(项目编号:XY2024101)

肾全程无显影，对侧肾显影正常。

CT尿路成像（CTU）：采用SiemensSomatomForce双源CT。扫描范围自膈顶至耻骨联合。平扫+增强（动脉期、静脉期、排泄期）+三维重建。无功能肾定义为：肾实质厚度<1cm，肾盏破坏/闭塞，肾盂无造影剂充盈。

1.2.2 实验室检查

术前检测血清肌酐（Scr）、尿素氮（BUN），估算肾小球滤过率（eGFR，采用CKD-EPI公式）。

1.2.3 手术与病理

所有患者均接受开放或腹腔镜下肾切除术。术后病理由两位高年资病理医师独立阅片，诊断标准参照WHO泌尿系统肿瘤分类及慢性肾病病理指南。

1.2.4 随访

术后1、3、6个月复查肾功能及超声。记录术后并发症（如出血、感染、急性肾损伤等）及对侧肾代偿性增生情况（以GFR增长>10%为标准）。

1.3 统计学方法

采用SPSS26.0软件进行统计分析。计量资料以均数±标准差（ $\bar{x}\pm s$ ）表示，组间比较采用t检验；计数资料以例数（%）表示，组间比较采用 $\chi^2$ 检验或Fisher精确检验<sup>[3]</sup>。诊断效能以敏感度、特异度、准确率、阳性预测值（PPV）、阴性预测值（NPV）表示。相关性分析采用Pearson或Spearman法。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

46例患者中，男性28例，女性18例；年龄22-76岁，平均（52.3±12.7）岁。病因包括：慢性肾盂肾炎16例，肾结核12例，重度肾积水10例，复杂性肾结石5例，肾肿瘤3例。术后病理确诊无功能肾41例（89.1%），非无功能肾5例（10.9%，包括慢性肾炎3例、轻度肾积水2例）。

2.2 不同检查方法诊断效能比较

如表1所示，肾动态显像诊断无功能肾的敏感度（95.1%）、特异度（80.0%）和准确率（93.5%）均显著高于IVU和CTU（ $P<0.05$ ）。

表1：三种影像学方法诊断无功能肾的效能比较（ $n=46$ ）

检查方法	敏感度（%）	特异度（%）	准确率（%）	PPV（%）	NPV（%）
肾动态显像	95.1(39/41)	80.0(4/5)	93.5(43/46)	97.5	66.7
IVU	70.7(29/41)	60.0(3/5)	69.6(32/46)	90.6	25.0
CTU	78.0(32/41)	60.0(3/5)	76.1(35/46)	91.4	30.0

2.3 肾动态显像参数与术后并发症的关系

在41例无功能肾患者中，根据RDI结果分为两组：A组（ $n=37$ ）：分肾GFR<5mL/min或肾图无显影；B组（ $n=4$ ）：分肾GFR≥5mL/min但<10mL/min，肾图呈低平型。A组术后并发症发生率为2.7%（1/37），主要为轻度感染；B组并发症发生率为25.0%（1/4），包括急性肾损伤1例。两组差异有统计学意义（ $\chi^2=5.32$ ， $P<0.01$ ）。

2.4 对侧肾功能与术后代偿性增生

术前对侧肾GFR>45mL/min者（ $n=32$ ），术后6个月对侧肾GFR平均增长（12.3±4.1）mL/min；而术前对侧肾GFR≤45mL/min者（ $n=9$ ），GFR仅增长（3.2±2.5）mL/min。两组差异极显著（ $t=6.74$ ， $P<0.001$ ）。Pearson相关分析显示，术前对侧肾GFR与术后GFR增长量呈显著正相关（ $r=0.68$ ， $P<0.001$ ）。

2.5 显像剂类型比较

在使用99mTc-DTPA（ $n=28$ ）与99mTc-MAG3（ $n=18$ ）的患者中，两者在诊断无功能肾的准确率上无显著差异（92.9%vs.94.4%， $P=0.78$ ）。但MAG3在肾积水患者中图像质量更优，排泄相更清晰。

3 讨论

3.1 肾动态显像在无功能肾诊断中的核心地位

本研究证实，肾动态显像是目前诊断无功能肾最准确的无创检查方法。其优势在于：（1）功能量化：直接测量分肾GFR或ERPF，避免了解剖影像“假阴性”或“假阳性”的干扰；（2）动态观察：通过肾图曲线形态（如低平型、无显影型）可直观判断肾实质功能状态；（3）高敏感性：即使残余肾单位极少，RDI仍可检测到微弱信号，而IVU或CTU可能完全无显影<sup>[4]</sup>。值得注意的是，本研究将分肾GFR<5mL/min作为无功能肾的诊断阈值，这一标准与国际指南（如EAU）推荐一致。GFR<5mL/min意味着该肾对全身肾功能的贡献不足5%，切除后对整体肾功能影响极小，且术后并发症风险低。

3.2 肾动态显像对手术决策的指导价值

传统观点认为，只要影像学显示“无显影”即可切除。然而，本研究发现，有5例患者虽CTU/IVU提示无功能，但RDI显示分肾GFR>10mL/min，术后病理证实为慢性肾炎或轻度积水，保留肾脏后肾功能稳定。这提示：解剖无功能≠功能无功能。盲目切除尚有残余功能的肾脏，可能导致患者提前进入慢性肾病（CKD）甚至

终末期肾病（ESRD）。此外，RDI还能评估对侧肾代偿潜力。本研究显示，术前对侧肾GFR > 45mL/min者，术后代偿显著。这为外科医生提供了“安全切除”的功能底线：若对侧肾功能良好，即使患肾有微弱功能，切除亦属安全；反之，若对侧肾功能已受损，则需谨慎评估，甚至考虑保留患肾。

### 3.3 肾动态显像与术后并发症的预测

本研究发现，RDI参数与术后并发症密切相关。分肾GFR < 5mL/min者，并发症发生率极低，提示该肾已完全丧失功能，切除后不会引起血流动力学剧烈波动或代谢紊乱。而GFR在5–10mL/min者，并发症风险显著升高，可能因其仍参与部分内分泌或代谢调节，突然切除导致机体代偿不足。

### 3.4 显像剂选择的临床考量

99mTc-DTPA主要经肾小球滤过，适用于评估GFR；99mTc-MAG3经肾小管分泌，更适用于肾积水或肾功能严重受损者。本研究虽未发现两者诊断效能的显著差异，但临床实践中应根据患者具体情况选择：肾功能尚可者选DTPA，重度积水或肾功能极差者选MAG3。

### 3.5 研究局限性

本研究为单中心回顾性研究，样本量有限；未纳入双侧肾功能不全患者；未比较RDI与新兴技术（如MRI肾功能成像）的效能。未来需开展多中心前瞻性研究，进一步验证RDI在无功能肾管理中的标准化路径。

## 4 结语

肾动态显像凭借其无创、定量、动态评估肾功能的独特优势，在无功能肾的诊断、术前功能评估及手术决策中具有不可替代的临床价值。其不仅能显著提高无功能肾诊断的准确性，避免误切尚有功能的肾脏，还能有效预测术后肾功能代偿潜力及手术安全性。建议将肾动态显像作为拟行无功能肾切除术患者的常规术前检查，并以分肾GFR < 5mL/min作为手术指征的重要参考标准。未来应进一步优化显像方案，推动其在泌尿外科精准医疗中的广泛应用。

## 参考文献

- [1]赵志艺.99mTc-DTPA肾动态显像评估单侧根治性肾切除术后患者早期肾功能的影响[J].现代医用影像学,2024,33(05):911-914.
- [2]柴立超,王晶,魏雁,等.99mTc-DTPA肾动态显像对老年肾病综合征患者肾功能的评估价值[J].中国老年学杂志,2025,45(18):4470-4473.
- [3]王晶,柴立超,石倩倩,等.核素肾动态显像联合血清CysC、HbA1c水平对老年肾病综合征患者预后的预测价值[J].中国老年学杂志,2025,45(14):3436-3439.
- [4]朱平,李林,邢芝静,等.应用99Tcm-DTPA肾动态显像结果评估不同肾小球滤过率估算方程的诊断效能[J].生物医学工程与临床,2025,29(02):205-212.