·诊治分析·

# 多参数功能 MRI 成像在评估慢性肾脏病患者临床分期中的应用价值

徐旋宇，陈真婧，梁修振

【关键词】 多参数功能 MRI 成像；慢性肾脏病患者；临床分期；肾小球滤过率
DOI:10.3969/j.issn.1671-0800.2026.02.017
【中图分类号】 R692　【文献标志码】 A　【文章编号】 1671-0800(2026)02-0179-04

慢性肾脏病（chronic kidney disease，CKD）已成为全球范围内的重大公共卫生挑战，其患病率持续上升，给社会医疗体系带来沉重负担。该疾病的病理进程隐匿且具有不可逆性，早期精准评估对延缓疾病进展、改善患者预后具有重要意义[1]。目前，临床主要依据估算肾小球滤过率（estimated glomerular filtration rate，eGFR）和尿蛋白定量进行诊断与分期。然而，它们更多体现肾脏整体的滤过功能与屏障损伤，难以无创、直观地揭示肾实质的微观变化[2]。功能磁共振成像（MRI）技术的快速发展为无创性评估脏器内部功能与微观结构开辟了崭新路径。一系列基于不同成像原理的技术，如血氧水平依赖成像、动脉自旋标记灌注成像、多模型扩散加权成像以及磁共振弹性成像（MRE）等，能够定量探测组织的氧合水平、血流灌注、水分子运动及生物力学特性[3-4]。将这些技术整合形成的多参数功能 MRI（mp-MRI）策略，理论上允许在一次检查中同步获取多维度功能信息，从而实现对肾脏复杂病理状态的综合描绘。这为深层次理解 CKD 的异质性并实现精细化分期提供了潜在工具。因此，本研究探讨 mp-MRI 在 CKD 临床分期评估中的应用价值，重点分析其在区分疾病不同进展阶段中的能力，现报道如下。

## 1　资料与方法

1.1　一般资料　回顾性分析 2024 年 6 月至 2025 年 6 月于宁波市医疗中心李惠利医院确诊的 120 例 CKD 患者临床资料。其中男 68 例，女 52 例；年龄 40 ～ 79 岁，平均（56.8±6.5）岁；体质量指数 18.2 ～ 28.4 kg/m$^2$，平均（23.15±1.56）kg/m$^2$。原发病：糖尿病肾病 53 例，高血压肾病 41 例，慢性肾小球肾炎 26 例。依据 eGFR 将患者分为早期 CKD 组（CKD 1 ～ 3a 期，eGFR≥45 ml·min$^{-1}$·1.73m$^{-2}$）和中晚期 CKD 组（CKD 3b ～ 5 期，eGFR ＜ 45 ml·min$^{-1}$·1.73m$^{-2}$）。本研究获得宁波市医疗中心李惠利医院医学伦理委员会批准，免除知情同意。

纳入标准：（1）年龄 18 ～ 80 岁；（2）符合 CKD 的诊断标准[5]，且病程≥3 个月；（3）入院时完成全部临床实验室检查及肾脏 mp-MRI 检查；（4）临床资料完整，依从性良好。排除标准：（1）存在急性肾损伤或可逆性肾功能恶化因素；（2）伴有其他主要脏器（如心、肝、肺）严重功能不全；（3）既往有单侧或双侧肾脏手术史或存在先天性肾脏结构异常；（4）合并肾动脉狭窄（狭窄程度＞ 50%）、尿路梗阻或活动性泌尿系统感染；（5）存在 MRI 检查禁忌证（如体内有非兼容性金属植入物、严重幽闭恐惧症等）；（6）临床诊断为多囊肾病、狼疮性肾炎等继发性肾病（糖尿病肾病及高血压肾病除外）；（7）妊娠或哺乳期妇女。

1.2　方法　所有患者均于入院 1 周内完成肾脏 mp-MRI 扫描。使用 Philips Ingenia Elition X 3.0 T 磁共振成像系统，采用体部相控阵线圈。血氧水平依赖（BOLD）成像采用平面回波成像序列，重复时间（TR）/回波时间（TE）100/2.5 ms，回波链长度（ETL）175；动脉自旋标记（ASL）采用伪连续标记方式，标记后延迟时间 2 000 ms，TR/TE 4 000/16 ms；弥散加权成像（DWI）采用单指数与体素内不相干运动模型，b 值取 0、50、200、800 s/mm$^2$，TR/TE 2 000/65 ms；MRE 采用外部机械振动，频率 60 Hz，TR/TE 50/20 ms。所

基金项目：宁波市科技计划项目（2024J426）
作者单位：315040 宁波，宁波市医疗中心李惠利医院
通信作者：徐旋宇，Email：15058839785@163.com

有序列层厚均为 4 mm，矩阵 256×256。影像后处理在 Philips ISP 工作站完成，由两名不知晓临床分期的影像科医师独立分析。

核心功能参数：(1) 髓质 R2*值，反映肾组织氧合水平；(2) 肾皮质血流量（RCBF），反映肾皮质区域的血流灌注；(3) 表观扩散系数（ADC），反映组织内水分子整体扩散能力；(4) 灌注分数（f），反映微循环灌注贡献的比例；(5) 肾脏杨氏模量值（RYM），反映肾组织的硬度或弹性。测量时于双侧肾脏皮质及髓质（区分内、外髓质）分别勾画感兴区，取平均值。

1.3　观察指标　(1) mp-MRI 相关指标：包括髓质 R2*值、RCBF、ADC、f 及 RYM。(2) CKD 严重程度相关指标：所有患者于入院后次日清晨采集空腹静脉血及 24 h 尿液标本，采用酶法测定血清肌酐，并据此计算 eGFR；采用比色法测定 24 h 尿蛋白定量。

1.4　统计方法　采用 SPSS 25.0 统计软件进行数据分析；正态分布计量数据组间比较采用独立样本 *t* 检验；采用受试者工作特征（ROC）曲线分析 mp-MRI 参数对评估 CKD 临床分期的诊断效能；采用 *Pearson* 相关系数分析中晚期 CKD 组患者入院时 mp-MRI 指标与 eGFR、24 h 尿蛋白定量的关系。$P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

## 2　结果

2.1　CKD 患者临床分期情况　72 例患者处于 CKD 1 ～ 3a 期，纳入早期 CKD 组；48 例患者处于 CKD 3b ～ 5 期，纳入中晚期 CKD 组。

2.2　两组 mp-MRI 相关指标比较　早期 CKD 组的髓质 R2*值、RYM 均显著低于中晚期 CKD 组，而 RCBF、ADC、f 则均显著高于中晚期 CKD 组（均 $P < 0.05$），见表 1。

2.3　两组 CKD 严重程度相关指标比较　早期 CKD 组 eGFR 显著高于中晚期 CKD 组，而 24 h 尿蛋白定量则均显著低于中晚期 CKD 组（均 $P < 0.05$），见表 2。

2.4　mp-MRI 参数对评估 CKD 临床分期的诊断效能　ROC 曲线显示，髓质 R2*值、RCBF、ADC、f、RYM 对 CKD 临床分期的 *AUC* 分别为 0.888、0.904、0.871、0.964、0.895，见表 3。

2.5　中晚期 CKD 组患者入院时 mp-MRI 指标与 eGFR、24 h 尿蛋白定量的相关性　eGFR 与髓质 R2*值、RYM 呈负相关，与 RCBF、ADC、f 呈正相关；24 h 尿蛋白定量与髓质 R2*值、RYM 呈正相关，与 RCBF、ADC、f 呈负相关（$P < 0.05$），见表 4。

## 3　讨论

本研究结果显示，与早期 CKD 患者相比，中晚期 CKD 患者的肾脏在多个功能影像参数上呈现出特征性的改变。具体表现为，反映肾髓质氧合水平的 R2*值显著增高，这与 CKD 进展中普遍存在的肾组织缺氧病理状态相符。肾脏缺氧是 CKD 发生与发展的重要驱动因素，其机制涉及肾毛细血管稀疏、微循环障碍、氧耗增加以及贫血等多重因素共同作用[6]。同时，代表肾皮质灌注水平的 RCBF 出现显著下降，直接印证了肾脏血流动力学恶化在 CKD 进展中的核心地位[7]。肾血流的减少与入球小动脉收缩、肾小球硬化及间质纤维化导致的血管床减少密切相关[8]。在扩散成像方面，ADC 降低提示了肾组织内水分子自由扩散能力减弱，这通常与细胞肿胀、间质水肿及后期出现的纤维化组织增生导致细胞外间隙缩小和结构复杂性增加有关[9]。更为敏感的是，反映微循环

表 1　两组慢性肾脏病（CKD）患者入院时的 mp-MRI 相关指标比较

| 组别 | 例数 | 髓质 R2*值（Hz） | RCBF（ml • 100g$^{-1}$ • min • $^{-1}$） | ADC（×10$^{-3}$ mm$^2$/s） | f（%） | RYM（kPa） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 早期 CKD 组 | 72 | 18.39±2.16 | 228.05±35.48 | 1.90±0.21 | 20.36±3.18 | 2.98±0.63 |
| 中晚期 CKD 组 | 48 | 23.41±3.41 | 157.28±43.67 | 1.59±0.19 | 13.10±2.70 | 4.78±1.29 |
| *t* 值 | | 9.88 | 9.75 | 8.22 | 13.00 | 10.17 |
| *P* 值 | | ＜ 0.05 | ＜ 0.05 | ＜ 0.05 | ＜ 0.05 | ＜ 0.05 |

注：mp-MRI 为多参数 MRI，RCBF 为肾皮质血流量，ADC 为表观扩散系数，f 为灌注分数，RYM 为肾脏杨氏模量值

表 2　两组慢性肾脏病（CKD）患者入院时的病情严重程度相关指标比较

| 组别 | 例数 | 估算肾小球滤过率（ml • min$^{-1}$ • 1.73m$^{-2}$） | 24 h 尿蛋白定量（g/24 h） |
|---|---|---|---|
| 早期 CKD 组 | 72 | 68.33±7.65 | 0.84±0.17 |
| 中晚期 CKD 组 | 48 | 28.63±5.25 | 2.77±0.63 |
| *t* 值 | | 31.35 | 24.72 |
| *P* 值 | | ＜ 0.05 | ＜ 0.05 |

表 3　mp-MRI 参数对评估 CKD 临床分期的 ROC 曲线参数

| 变量 | *AUC* | 敏感度(%) | 特异度(%) | 截断值 | *P* 值 | 95% *CI* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 髓质 R2*值 | 0.888 | 75.00 | 95.83 | 22.04 Hz | ＜0.05 | 0.818～0.938 |
| RCBF | 0.904 | 91.67 | 79.17 | 199.92 ml•100g$^{-1}$•min$^{-1}$ | ＜0.05 | 0.837～0.950 |
| ADC | 0.871 | 70.83 | 90.28 | 1.65×10$^{-3}$ mm$^2$/s | ＜0.05 | 0.798～0.925 |
| f | 0.964 | 97.92 | 84.72 | 17.22% | ＜0.05 | 0.913～0.989 |
| RYM | 0.895 | 75.00 | 98.61 | 4.04 kPa | ＜0.05 | 0.825～0.943 |

注：mp-MRI 为多参数 MRI，CKD 为慢性肾脏病，ROC 曲线为受试者工作特征曲线，RCBF 为肾皮质血流量，ADC 为表观扩散系数，f 为灌注分数，RYM 为肾脏杨氏模量值

表 4　中晚期慢性肾脏病患者入院时 mp-MRI 指标与 eGFR、24 h 尿蛋白定量的相关性分析

| 指标 | eGFR | | 24 h 尿蛋白定量 | |
|---|---|---|---|---|
| | *r* 值 | *P* 值 | *r* 值 | *P* 值 |
| 髓质 R2*值 | −0.766 | ＜0.05 | 0.744 | ＜0.05 |
| RCBF | 0.746 | ＜0.05 | −0.820 | ＜0.05 |
| ADC | 0.743 | ＜0.05 | −0.816 | ＜0.05 |
| f | 0.673 | ＜0.05 | −0.806 | ＜0.05 |
| RYM | −0.729 | ＜0.05 | 0.754 | ＜0.05 |

注：mp-MRI 为多参数 MRI，eGFR 为估算肾小球滤过率，RCBF 为肾皮质血流量，ADC 为表观扩散系数，f 为灌注分数，RYM 为肾脏杨氏模量值

灌注贡献的 f 也明显下降，这表明在整体肾血流减少之前或同时，肾脏的微血管网络灌注已发生更早、更细微的损害[10]。此外，通过磁共振弹性成像测得的 RYM 在中晚期 CKD 组显著升高，直接定量地证实了肾组织硬度的增加，其病理基础主要是肾间质纤维化和细胞外基质的过度沉积[11]。

本研究结果显示，所纳入的 mp-MRI 各参数对于区分 CKD 早期与中晚期阶段均展现出良好的鉴别能力。eGFR 的下降本质上是功能性肾单位大量丢失和肾小球滤过功能衰竭的最终体现[12]，而 mp-MRI 参数所探测到的缺氧、低灌注、扩散受限和组织变硬，正是导致肾单位丢失和功能衰竭的直接结构性原因与中间环节。因此，这些影像参数不仅能区分疾病阶段，更能部分揭示分期背后的组织学基础。相关性分析进一步巩固了这一观点。在中晚期 CKD 患者中，反映组织缺氧和纤维化的参数（如髓质 R2*值和 RYM）与 eGFR 呈负相关，与蛋白尿呈正相关；而反映灌注和扩散能力的参数（如 RCBF、ADC 和 f）与 eGFR 呈正相关，与蛋白尿量呈负相关。这种强关联性并非偶然，其内在机制：eGFR 下降直接与有功能的肾血管床减少、肾小球硬化及肾小管间质纤维化范围扩大，而这些结构病变正是导致影像上出现低灌注、高缺氧和高硬度的直接原因[13]。同样，大量蛋白尿不仅是肾小球滤过屏障损伤的标志，其本身也可通过诱导肾小管细胞损伤、炎症反应和间质纤维化，加剧肾组织缺氧和微循环障碍，从而与异常的 mp-MRI 参数形成紧密联系[14-15]。这表明 mp-MRI 指标与临床指标之间的相关性，深刻反映了肾脏影像学表现与功能学及病理学损伤程度的内在统一性。

综上所述，mp-MRI 能够从组织氧合、微宏观灌注、水分子扩散及生物力学特性等多个层面，无创、定量地捕获 CKD 进展中的关键病理生理变化。本研究初步证实了 mp-MRI 在辅助 CKD 精准分期与早期风险评估中的应用潜力，为将来实现个体化治疗与动态监测提供了新的影像学工具。

**利益冲突**　所有作者声明无利益冲突

## 参　考　文　献

[1] Cockwell P, Fisher L A. The global burden of chronic kidney disease [J]. Lancet, 2020, 395(10225): 662-664.

[2] 荣婷,孔俊沣,曾文兵,等.5.0T MRI 动脉自旋标记和形态学指标评估慢性肾脏病分期的价值[J].中国医学影像学杂志,2025,33(7):717-722.

[3] 余雅真,张薇,周涵,等.应用功能磁共振成像判断急性肾损伤患者肾脏慢性病变及预测肾功能转归[J].肾脏病与透析肾移植杂志,2024,33(3):201-206.

[4] 叶辉,许晓金,冯世强,等 .fMRI 成像技术在 OSAHS 患者中的临床价值研究[J].转化医学杂志,2022,11(6):374-377.

[5] Rovin B H, Adler S G, Barratt J, et al. KDIGO 2021 clinical practice guideline for the management of glomerular diseases[J]. Kidney Int, 2021, 100(4): S1-S276.

[6] 王国光,孟令平,胡明秀,等.BOLD 及 mDIXON-Quant 序列预测慢性肾脏病患者肾功能发展的探讨[J].医学影像学杂志,2024,34(8):86-89.

[7] 孙由静,王思宇,马娜,等.超声造影基线肾皮质血流灌注对重度肾动脉狭窄支架治疗短期预后的观察性研究 [J]. 中华超声影像学杂志,2021,30(11):944-949.

[8] 丁云亚,梁玲.超声造影评估肾动脉狭窄支架植入术患者分肾皮质血流灌注的价值[J].临床超声医学杂志,2022,24(9):677-680.

[9] 梁修振,董倩,周进龙,等.皮质期CT 增强扫描联合表观扩散系数预测慢性肾脏病分期的临床价值[J].浙江医学,2023,45(18):1932-1936.

[10] 任燕,陈丽华,袁仪忠,等.体素内不相干运动成像评估鼠肾冷缺血再灌注损伤[J].临床放射学杂志,2023,42(10):1679-1686.
[11] 刘可,刘承玄,牟霜,等.平面波超敏感血流显像联合剪切波弹性成像诊断慢性肾脏病的临床价值[J].临床超声医学杂志,2024,26(1):65-69.
[12] 刘颖,康琦,张保振,等.老年住院患者衰弱与估算肾小球滤过率的关系[J].中国医药导报,2024,21(35):109-113.
[13] 米民东,巩继勇,孙维杰,等.5 种估算肾小球滤过率计算公式对肾脏滤过功能进行评估的临床应用评价[J].临床检验杂志,2024,42(6):456-460.
[14] 陈睿,王旁,彭燕,等.尿白蛋白与肌酐比值联合血肌酐对老年高血压患者早期肾小球滤过率下降的诊断价值[J].中国循证心血管医学杂志,2021,13(3):325-328.
[15] 李靖,叶卫丰,徐安健,等.糖尿病肾脏病患者血清 Sirt1 与炎症及氧化应激反应、白蛋白尿短期进展的关系[J].临床和实验医学杂志,2022,21(3):274-277.

**收稿日期:2026-01-16**
**(本文编辑:孙海儿)**

# 中西医结合治疗肾虚血瘀型阿尔茨海默病伴睡眠障碍的临床疗效观察

刘美真,周蓉靖,陈慧丽,吴王芳,凌军,戚锡铅

**【关键词】** 阿尔茨海默病;肾虚血瘀型;睡眠障碍;中西医结合治疗
DOI:10.3969/j.issn.1671-0800.2026.02.018
**【中图分类号】** R749.1　**【文献标志码】** A　**【文章编号】** 1671-0800(2026)02-0182-04

阿尔茨海默病(Alzheimer's disease,AD)是一种常见的隐匿起病并逐渐进展的神经系统退行性疾病,其主要表现为记忆力、理解力、定向力、计算力及日常生活自理能力下降。相关研究表明[1],睡眠障碍是 AD 最常见的共病之一,高达 60%的 AD 患者合并睡眠片段化和夜间觉醒时间延长,严重影响患者生活质量,也加剧了看护成本;因此防治 AD 患者的睡眠障碍是不容忽视的问题。然而常规改善认知障碍药物收效甚微,且 AD 患者服用安眠药物可能会进一步影响记忆力、注意力和决策能力,加重认知障碍的症状[2]。中医学认为,AD 病机以肾精亏虚为本,痰瘀阻络为标,治疗多以补肾填精、活血通络。多项研究表明[3-4],中医药治疗 AD 具有"多靶点、多途径、低毒性"的治疗特点,因此将其应用于 AD 的治疗往往能取得不错的治疗效果。本研究观察中西医结合治疗肾虚血瘀型 AD 的临床疗效及对神经递质的干预作用,现报道如下。

**作者单位:** 宁波市科技计划项目(2023S083)
**作者单位:** 315010 宁波,宁波市中医院
**通信作者:** 刘美真,Email:441980640@qq.com

## 1　资料与方法

1.1　一般资料　收集 2023 年 3 月至 2024 年 12 月就诊于宁波市中医院的 AD 患者 84 例,根据随机数字表将受试对象分配至对照组与治疗组。其中对照组共纳入 42 例,包含男 19 例,女 23 例;年龄 62 ～ 84 岁,平均(70.3±2.5)岁;病程 1 ～ 5 年,平均(3.3±0.6)年;受教育程度 3 ～ 12 年,平均(7.2±1.2)年。治疗组共纳入 42 例,包括男 22 例,女 20 例;年龄 59 ～ 85 岁,平均(72.1±3.1)岁;病程 1 ～ 6 年,平均(3.5±0.8)年;受教育程度 0 ～ 15 年,平均(7.7±0.9)年。两组患者入组时临床资料具有可比性(均 $P > 0.05$)。本研究获得宁波市中医院临床试验伦理委员会批准(伦理号:宁波市中医院伦审 2024 研第 006 号-01),所有研究对象均同意参加本研究并签署书面知情同意书。

1.2　入组标准

1.2.1　诊断及辩证标准　西医诊断标准:AD 参照美国国家衰老研究院-阿尔茨海默协会(NIA-AA)[5]中的诊断标准,睡眠障碍参照《国际睡眠障碍分类》[6]中的诊断标准。中医诊断标准:参照《中药新药临床研究指导原则》[7]中的肾虚血瘀辩证标准,主症:智力减