

超微血流成像与 CDFI 在慢性肾脏病 肾血流灌注中的应用*

胡晓莉¹ 明志强² 顾鹏³ 屈茜萍¹ 郭亮⁴ 吕秋月¹

(1. 自贡市第一人民医院超声科, 四川 自贡 643000; 2. 自贡市第一人民医院放射科, 四川 自贡 643000;

3. 川北医学院附属医院超声科, 四川 南充 637000; 4. 自贡市第一人民医院肾病内科, 四川 自贡 643000)

【摘要】 目的 探讨超微血流成像(SMI)与彩色多普勒超声(CDFI)在评价慢性肾脏病(CKD)患者肾血流灌注改变中的临床应用价值。**方法** 收集 2020 年 3 月~2021 年 1 月于自贡市第一人民医院临床确诊的 CKD 患者 73 例(146 个肾)以及同期在我院进行体检的正常体检者 34 例(68 个肾)作为研究对象。根据慢性肾脏病 K/DOQI 分期指南,将 73 例 CKD 设为病例组,病例组患者分为 CKD1 期组、CKD2 期组、CKD3 期组、CKD4 期组、CKD5 期组 5 组,将 34 例正常体检者设为对照组。分别于 CDFI 及 SMI 模式下观察所有研究对象双侧肾脏血流灌注情况,并对 CDFI 及 SMI 肾血流灌注进行分级、记录。**结果** 在 214 个肾脏中,SMI 显示为 4~5 级 157 个(73.4%),显示为 0~3 级 57 个(26.6%);CDFI 显示为 4~5 级 118 个(55.1%),显示为 0~3 级 96 个(44.9%);同一组别 SMI 与 CDFI 肾血流灌注分级构成比进行比较,各组差异均有统计学意义($P < 0.05$),且对照组、CKD1~CKD3 期组 SMI 显示 4~5 级的构成比均高于 CDFI ($P < 0.05$);CKD4 期组、CKD5 期组 SMI 显示 3~4 级的构成比均高于 CDFI ($P < 0.05$)。6 组 CDFI 肾血流灌注分级两两比较:对照组与 CKD1 期组、CKD2 期组,CKD1 期组与 CKD2 期组、CKD3 期组,CKD2 期组与 CKD3 期组,CKD3 期组与 CKD4 期组,CKD4 期组与 CKD5 期组比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),余组两两对比,差异有统计学意义($P < 0.05$)。6 组 SMI 肾血流灌注分级两两比较:对照组与 CKD1 期组、CKD2 期组,CKD1 期组与 CKD2 期组,CKD3 期组与 CKD4 期组比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),余组两两对比,差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** SMI 对 CKD 不同临床分期肾血管的显示能力优于 CDFI,且能够较早检测出 CKD 肾血流灌注的改变,有助于 CKD 的临床诊断、病情评估及治疗,可以作为评价 CKD 肾血流灌注改变的有效检查手段,具有重要临床应用价值。

【关键词】 超微血流成像;慢性肾脏病;CDFI;血流灌注

【中图分类号】 R692.5 **【文献标志码】** A **DOI:**10. 3969/j. issn. 1672-3511. 2023. 02. 028

Application of superb micro-vascular imaging and CDFI in renal blood perfusion of chronic kidney disease

HU Xiaoli¹, MING Zhiqiang², GU Peng³, QU Qianping¹, GUO Liang⁴, LYU Qiuyue¹

(1. Department of Ultrasound, Zigong First People's Hospital, Zigong 643000, Sichuan, China;

2. Department of Radiology, Zigong First People's Hospital, Zigong 643000, Sichuan, China;

3. Department of Ultrasound, The Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan, China;

4. Department of Nephrology, Zigong First People's Hospital, Zigong 643000, Sichuan, China)

【Abstract】 Objective To explore the clinical value of super microvascular imaging (SMI) and CDFI in evaluating renal perfusion changes in patients with chronic kidney disease (CKD). **Methods** Seventy-three patients with CKD (146 kidneys) diagnosed at our hospital from March 2020 to January 2021 and thirty-four normal physical examinees (68 kidneys) who performed physical examination in our hospital at the same term were collected as study subjects. According to the K/DOQI staging criteria of CKD, seventy-three patients with CKD were divided into CKD stage 1 group, CKD stage 2 group, CKD stage 3 group, CKD stage 4 group and CKD stage 5 group, a total of 5 groups were set up as case groups,

基金项目:急救与创伤研究教育部重点实验室(海南医学院)开放课题(Grant KLET-202014)

通讯作者:顾鹏,教授,E-mail:linda2621@sina.com

引用本文:胡晓莉,明志强,顾鹏,等.超微血流成像与 CDFI 在慢性肾脏病肾血流灌注中的应用[J].西部医学,2023,35(2):298-302. DOI:10. 3969/j. issn. 1672-3511. 2023. 02. 028

and 34 normal subjects were set up as control groups. CDFI and SMI techniques were used to observe the bilateral renal blood perfusion of all subjects, respectively, and the blood perfusion was graded and recorded. **Results** Among 214 kidneys, SMI showed grade 4~5 in 157 (73.4%) and grade 0~3 in 57 (26.6%); CDFI showed grade 4~5 in 118 (55.1%) and grade 0~3 in 96 (44.9%); The composition ratio of SMI and CDFI renal blood perfusion grading in the same group was compared, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$), and the composition ratio of SMI showing grade 4~5 in the control group and CKD1 stage group~CKD3 stage group was higher than that of CDFI. The composition ratio of SMI grade 3~4 was higher than CDFI in CKD4 stage group and CKD5 stage group. Two-by-two comparison of CDFI renal blood perfusion grading in 6 groups: no statistically significant difference ($P > 0.05$) between control group and CKD1 stage group and CKD2 stage group, CKD1 stage group and CKD2 stage group and CKD3 stage group, CKD2 stage group and CKD3 stage group, CKD3 stage group and CKD4 stage group, CKD4 stage group and CKD5 stage group, and the rest two-by-two comparison, the difference was statistically significant ($P < 0.05$). Pairwise comparison of renal blood perfusion grades detected by SMI in 6 groups: there were no statistically significant difference ($P > 0.05$) between control group and CKD1 stage group and CKD2 stage group, CKD1 stage group and CKD2 stage group, CKD3 stage group and CKD4 stage group, and the rest two-by-two comparison, the difference was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** The ability of SMI to display renal vessels in different clinical stages of CKD is better than that of CDFI, and it can detect the alteration of renal blood perfusion in CKD at an earlier stage, which is helpful for the clinical diagnosis, disease assessment and treatment of CKD, and can be used as a routine and effective means to evaluate the alteration of renal perfusion in CKD, and has important clinical application value.

【Key words】 Superb micro-vascular imaging; Chronic kidney disease; Color doppler flow imaging; Blood perfusion

慢性肾脏病(Chronic kidney disease, CKD)是临床常见病,且该疾病的发病比例逐年升高,目前已成为全球公共卫生健康问题^[1]。据统计,2017 年全球 CKD 患者超过 6 亿,而我国 CKD 患病率高达 18.96%,患病人数已超过 1 亿^[2]。由于 CKD 起病隐匿,在早期往往无明显症状,随着病情进展,肾脏各级肾血管逐级受累而导致肾血流灌注逐渐降低,最终发展为不可逆的慢性肾功能衰竭甚至终末期肾病,导致人们的生活质量严重下降,甚至威胁到人们的生命安全。为有效延缓 CKD 肾功能损害进程,降低终末期肾病的发生率及疾病死亡率,临床需尽早对 CKD 各期进行诊断并及时治疗。研究^[3]表明,肾脏的血流灌注改变与肾功能的损害具有一定的相关性,因此,准确评价肾脏血流灌注改变可以作为评估 CKD 患者肾功能损害程度的参考依据。超微血流成像(Super microvascular imaging, SMI)是近年来兴起的可较灵敏地检测出微细血流的新技术。其采用独特的自适应算法以及新的杂波抑制技术,可高帧频、高分辨率地探测出常规超声无法探测到的微细血管及低速血流^[4-5]。近年来,SMI 以其独特的优势在临床上得到广泛应用,且在乳腺、甲状腺、颈动脉粥样斑块及肿瘤等方面的应用研究较多^[6-9],但应用于肾脏疾病的研究相对较少。本研究以临床不同阶段的 CKD 患者作为研究对象,运用彩色多普勒超声(CDFI)和 SMI 检测各期 CKD 患者肾血流灌注情况,探讨 SMI 诊断慢性肾脏病的临床价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2020 年 3 月~2021 年 1 月于自贡市第一人民医院临床确诊为慢性肾脏病患者 73 例为病例组,并收集同期于我院体检肾脏正常者 34 例为对照组。病例组共选取 73 例 146 个肾脏,年龄 17~84 岁,平均(52.63 ± 14.37)岁。其中男 41 例 82 个肾脏,平均年龄(52.90 ± 15.01)岁,女 32 例 64 个肾脏,平均年龄(52.28 ± 13.73)岁。以美国肾脏病基金会制定的 K/DOQI 指南为 CKD 分期标准^[10],将 CKD 患者分成 CKD1 期组(12 例)、CKD2 期组(14 例)、CKD3 期组(17 例)、CKD4 期组(14 例)、CKD5 期组(16 例)共 5 组。对照组:共选取 34 例 68 个肾脏,年龄 17~84 岁,平均(52.82 ± 16.87)岁。其中男 17 例 34 个肾脏,平均年龄(54.59 ± 18.16)岁,女 17 例 34 个肾脏,平均年龄(53.31 ± 13.23)岁。对照组中所有受检者肾脏影像学检查无异常,肾功能各项指标均正常,且无各种肾脏疾病病史及可能影响肾功能的其他疾病史。病例组中所有受检者均应排除以下情况:①肾良恶性肿瘤、多囊肾疾病史。②急性肾损伤患者。③配合度差、气体干扰明显的患者。本研究经我院医学伦理委员会批准,受检者均知情同意。

1.2 CKD 分期标准 参照美国肾脏病基金会制定的 K/DOQI 指南^[10],以肾小球滤过率估算值(eGFR)作为 CKD 分期标准将其分成 1~5 期:CKD1 期: $\geq 90 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$;CKD2 期: $60 \sim 89 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$;CKD3 期: $30 \sim 59 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$;CKD4 期: $15 \sim 29 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$;CKD5 期: $< 15 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ 或透析。

1.3 仪器与方法

1.3.1 检查仪器 使用佳能 Aplio i800 彩色多普勒超声诊断仪,选用凸阵探头,探头频率为 1~8 MHz,配备 SMI 和 CDFI 技术软件。

1.3.2 检查方法 取仰卧位或侧卧位,嘱受检者屏气,在二维灰阶模式下,先于一侧获取最清晰的肾脏长轴图像后,先后启动 CDFI 及 SMI 模式,分别观察 CDFI 及 SMI 模式下肾脏从肾主动脉至小叶间动脉的血流分布及各血管充盈情况,获得满意图像后进行 CDFI 及 SMI 肾血流分级并记录。再检查对侧肾脏。血流参数设置:CDFI 速度标尺为 12~20 cm/s,彩色增益范围为 35~45 dB;SMI 速度标尺为 1.2~2.0 cm/s,彩色增益范围为 30~40 dB。依照受检对象体型差异对其滤波和深度进行适当的调节,图像清晰满意以显示各级血管且无血流外溢为准。

1.4 图像分析 SMI 以及 CDFI 肾血流灌注分级指标:结合肾脏血流分布相关特征^[11],将肾脏 SMI 和 CDFI 血流灌注情况分为六个级别,0 级:整个肾脏无血流显示;1 级:仅肾主动脉内血流稀疏显示;2 级:肾主动脉血流清晰显示,肾段动脉血流不连续呈星点状显示,实质内无血流显示;3 级:肾主动脉、肾段动脉血流连续显示,叶间动脉血流不连续呈星点状显示,弓形动脉及包膜下小叶间动脉无血流显示;4 级:肾主动脉、肾段动脉、叶间动脉血流清晰显示,弓形动脉不连续呈短线状显示,包膜下小叶间动脉不显示或稀疏显示;5 级:整个肾脏从肾主动脉至小叶间动脉血流连续显示呈树枝状分布,且血流信号充盈、饱满。根据该评级标准,由两位具有丰富经验的超声医师对所有图像进行分析,并对 CDFI 及 SMI 图像进行分级、记录,如意见不统一,则由第 3 位具有 10 年以上工作经验的高年资医师参与分析、讨论,3 人共同商讨得出最终结果。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 25.0 软件数据包分析,计数资料以频数或构成比表示,行卡方检验。多组间的等级资料两两比较行 Kruskal-Wallis 秩和检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 各组 CDFI 和 SMI 检测肾脏血流灌注的组内比较 在 214 个肾脏中,SMI 显示为 4~5 级 157 个(73.4%),显示为 0~3 级 57 个(26.6%);CDFI 显示为 4~5 级 118 个(55.1%),显示为 0~3 级 96 个(44.9%)。同一组别 CDFI 与 SMI 肾血流灌注分级构成比进行比较,各组差异均有统计学意义($P<0.05$),且对照组、CKD1 期组~CKD3 期组 SMI 显示 4~5 级的构成比均高于 CDFI($P<0.05$);CKD4 期

组、CKD5 期组 SMI 显示 3~4 级的构成比均高于 CDFI($P<0.05$)。结果显示各组 CDFI 与 SMI 肾血流灌注分级随 CKD 分期的增高呈下降趋势,且 SMI 检测出细微血管及低速血流的能力高于 CDFI,SMI 尤其对弓形动脉和小叶间动脉的显示更清晰。见表 1。

2.2 对照组与病例组各组 CDFI 检测肾脏血流灌注分级的组间两两比较 对照组与 CKD1 期组、CKD2 期组,CKD1 期组与 CKD2 期组、CKD3 期组,CKD2 期组和 CKD3 期组,CKD3 期组和 CKD4 期组,CKD4 期组和 CKD5 期组比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),余组间两两进行对比,差异均有统计学意义($P<0.05$)。结果提示,CDFI 肾血流灌注显像中,CDFI 能在 CKD4 期检测出肾血流灌注的改变,CKD 分期越高,CDFI 检测出肾血流灌注越低。见表 1。

2.3 对照组与病例组各组 SMI 检测肾脏血流灌注分级的组间两两比较 对照组与 CKD1 期组、CKD2 期组,CKD1 期组与 CKD2 期组,CKD3 期组与 CKD4 期组比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。余组两两对比,差异均有统计学意义($P<0.05$)。结果提示,SMI 肾血流灌注显像中,SMI 能在 CKD3 期检测出肾血流灌注的改变,且能够区分 CKD4 期与 CKD5 期血流灌注的变化,CKD 分期越高,SMI 检测出肾血流灌注越低。见表 1、图 1。

表 1 对照组及 CKD 各分期患者 CDFI 和 SMI 肾血流灌注分级情况(个)
Table 1 Grading of CDFI and SMI renal blood perfusion in control group and CKD patients

分期	CDFI				SMI			
	0~2 级	3 级	4 级	5 级	0~2 级	3 级	4 级	5 级
对照组	0	10	42	16	0	0	19	49
CKD 1 期	0	3	18	3	0	0	7	17
CKD 2 期	0	5	19	4	0	0	12	16
CKD 3 期	0	21	13	0	0	9	24	1
CKD 4 期	11	14	3	0	0	16	12	0
CKD 5 期	31	1	0	0	25	7	0	0

3 讨论

肾脏作为人体的富血供器官,其血流灌注维持着肾功能状态。研究^[12-13]表明,CKD 慢性进展的主要病理改变是肾小球硬化、肾小管萎缩以及肾间质纤维化,可引起肾内各级动脉血管由小到大逐级受损,导致血管狭窄、闭塞,血流缓慢而形成微血栓、微血瘤,血流阻力增加,致使肾脏的血流灌注逐级降低,最终肾功能完全丧失。因此临床对于 CKD 患者需要早期诊断、早期治疗,尽早干预,延缓疾病进展,以降低终末期肾病的发生率,减少血液透析,提高患者生活质量。临床上目前以肾穿刺活检作为评估 CKD 肾功能

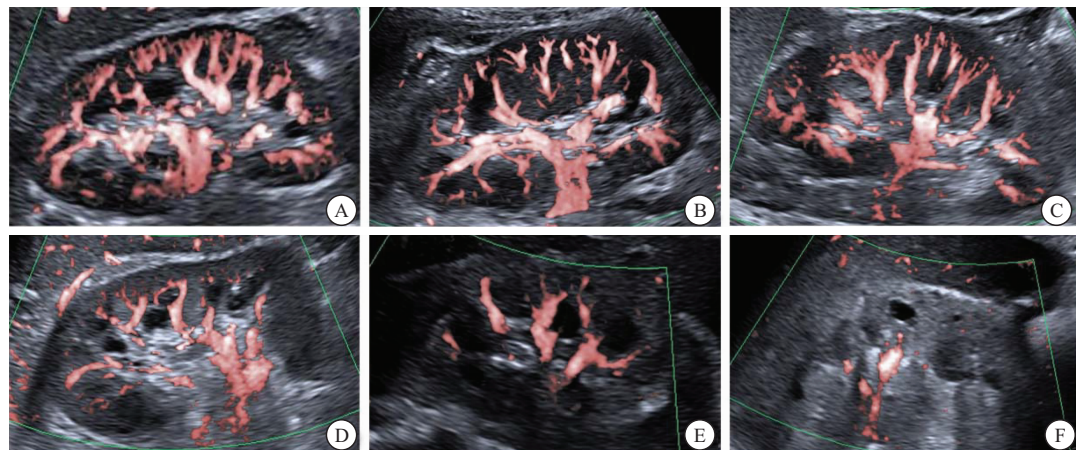


图 1 正常肾脏与 CKD1~5 期患者 SMI 肾血流灌注图

Figure 1 SMI renal blood perfusion map of normal kidney and CKD 1~5 patients

注: A. 正常肾脏: 整个肾脏血流分布呈树枝状, 可连续充盈至小叶间动脉, 包膜下可见毛细血管网, 血流分级 5 级; B. CKD 1 期患者: 血流从肾主动脉连续充盈至小叶间动脉, 血流分级 5 级; C. CKD2 期患者: 血流连续充盈, 且大部分延续至小叶间动脉, 血流分级 5 级; D. CKD3 期患者: 肾主动脉、肾段动脉血流连续, 且与大部分叶间动脉连续, 弓形动脉部分显示, 血流分级 4 级; E. CKD4 期患者: 肾主动脉、肾段动脉及叶间动脉连续性欠佳, 叶间动脉稀疏显示, 血流分级 3 级; F. CKD5 期患者: 肾主动脉与肾段动脉断续显示, 实质内无血流信号, 血流分级 2 级

受损的金标准, 但因其有创、操作复杂, 重复性差, 不适合病情的动态监测^[14]。而超声造影对于无症状患者的使用也因其为有创操作而受限。因此临床需要寻求一种无创、操作简便、随访性强的方法对 CKD 患者进行动态监测。

根据 K/DOQI 指南对 CKD 各期的治疗计划中提示^[15], CKD 早期患者肾脏轻度受损, 经有效治疗后有逆转的可能, 而病情发展到中晚期时, 大部分患者肾脏受损已不可逆转, 其中, CKD3 期是慢性肾脏病损伤是否可逆发展的转折点^[16], 此时患者可出现明显的并发症, CKD 病情进展加速, 同时心血管疾病的发生和死亡的风险增加, 影响患者的生存质量, 因此有效区分并尽早诊断 CKD 各期对于指导临床治疗及改善其预后具有重要意义。

超声血流检查技术因其能够无创、直观、可视化地检测肾血流灌注, 且操作便捷、重复性好, 一直以来受临床青睐。既往研究^[17]证实 CDFI 可以通过评价肾脏的血流灌注情况来反映肾功能情况, 然而由于 CDFI 对于微小血管和低速血流敏感性低, 不能检测出内径 <0.2 mm 的血管, 也无法检测出流速 <1 cm/s 的血流信号^[18]。同时 CDFI 定向分辨率较低, 易出现血管外溢, 其对于评价慢性肾脏损害血流灌注改变的能力有限^[19-20]。而 SMI 是近年来兴起的具有高灵敏度、高分辨率的新型彩色血流成像技术, 其捕捉微细血管和低速血流较常规超声更加敏感, 该技术无需造影剂便可检测到内径 >0.1 mm 及流速低至 0.8 cm/s 的血管, 同时还具备无创、运动伪像少等优点^[21-22]。在本研究中发现, 214 个肾脏中, SMI 显示 4~5 级 157

个(73.4%), 而 CDFI 显示 4~5 级 118 个(55.1%); 同一组别 CDFI 与 SMI 血流灌注分级构成比进行比较, 各组差异均有统计学意义, 且对照组、CKD1 期~CKD3 期组 SMI 显示 4~5 的构成比均高于 CDFI; CKD4 期组、CKD5 期组 SMI 显示 3~4 级的构成比均高于 CDFI。说明相对于传统 CDFI, SMI 对微细、低速的血流信号检出能力更强, 尤其是显示肾实质内的弓形动脉及小叶间动脉更具优势, 因此, SMI 能为临床提供更丰富的影像信息, 有助于临床更精确的评估肾功能受损程度进而更准确的诊断疾病。

在本研究中, 对照组与病例各组 CDFI 及 SMI 肾血流灌注分级随着分期增加呈下降趋势, 提示两种显像技术所显示的肾血流灌注均与 CKD 患者病情进展有一定的相关性, 对于诊断 CKD 及提示病情严重程度均有一定的临床价值, 但经组间两两比较发现, 在 CDFI 显像及 SMI 显像中, 对照组与 CKD1 期组、CKD2 期组比较均无统计学差异, 表示二者均未能反映出 CKD 早期血流灌注的改变, 尚不能对 CKD 早期的诊断提供参考文献。进一步研究发现, 在 CDFI 显像中, CKD4 期组、CKD 5 期组与 CKD1 期组、CKD2 期组比较差异均有统计学意义, 但 CKD3 期组与 CKD1 期组、CKD2 期组比较以及 CKD4 期组与 CKD 5 期组比较, 均无统计学差异; 而在 SMI 显像中, CKD3 期组、CKD4 期组、CKD 5 期组与 CKD1 期组、CKD2 期组比较以及 CKD4 期组与 CKD 5 期组比较, 差异均有统计学意义。说明 SMI 较 CDFI 能更早反映 CKD 患者肾血流灌注的改变, 同时能够反映晚期肾血流灌注的改变。表明 SMI 可以更早提示 CKD 患

者肾功能的改变,在区分 CKD 早中期、晚期的应用价值高于 CDFI,可为临床尽早诊断 CKD 并及时治疗提供重要参考依据。

本研究中,CDFI 及 SMI 肾血流灌注显像中,CKD1 期组、CKD2 期组与对照组血流分级比较无差异,这与潘志平^[23]的研究结果较为一致,原因可能是 CKD1 期、CKD2 期为肾脏受损初期,残余肾单位可利用其储备功能及代偿功能来进行自身调节,使得肾皮质区血流灌注能够维持充盈状态,导致皮质区血流灌注改变不明显。此阶段临床主要为积极预防及评估病情,肾脏功能有恢复的可能性。同时本研究还显示 CKD3 期组、CKD4 期组血流分级比较无差异,可能是 CKD4 期患者的肾小球纤维化处于 CKD3 期、CKD4 期的病理改变的过渡阶段,其代偿功能尚未完全丧失,萎缩肾单位血供尚未完全减少,使得肾脏代偿功能与失代偿功能存在交叉,后期将加大样本量进一步研究。

本研究样本量少,结果可能存偏移;SMI 技术操作依赖性强,且易受医生主观经验影响,可能会影响血流的准确判断;本课题未对不同病理类型的 CKD 患者肾血流灌注进行分析,需要进一步研究其存在区别与否。不同年龄、性别、体型以及不同患病年限的 CKD 患者肾脏血流灌注未在本研究中探讨,有待进一步研究。

4 结论

超微血流成像技术在评价慢性肾脏病肾血流灌注中具有较高应用价值,其显示微细血流的能力优于 CDFI,能够在疾病更早诊断、病情监测、指导治疗以及评价疗效等方面为临床提供重要的参考信息,可以作为评价 CKD 肾血流灌注改变的重要影像方法。

【参考文献】

- [1] 俞洁,李秀梅,顾海红,等.慢性肾脏病管理发展现状分析和探讨[J].健康教育与健康促进,2020,15(2):205-206,213.
- [2] GBD CHRONIC KIDNEY DISEASE COLLABORATION. Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990-2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. Lancet, 2020,395(10225):709-733.
- [3] 谭丽玲,陈志军,刘俊,等.肾血流灌注指数评价肾功能的价值[J].山东医药,2012,52(23):53-54.
- [4] LIM AKP, SATCHITHANANDA K, DICK E A, *et al.* Micro flow imaging: New Doppler technology to detect low-grade inflammation in patients with arthritis [J]. Eur Radiol, 2018, 28 (3):1046-1053.
- [5] KARACA L, ORAL A, KANTARCI M, *et al.* Comparison of the superb microvascular imaging technique and the color Doppler techniques for evaluating children's testicular blood flow [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2016, 20(10):1947-1953.
- [6] CHEN X, WANG H, JIANG Y, *et al.* Neovascularization in

- carotid atherosclerotic plaques can be effectively evaluated by superb microvascular imaging (SMI): Initial experience[J]. Vasc Med, 2020,25(4):328-333.
- [7] DIAO X, ZHAN J, CHEN L, *et al.* Role of Superb Microvascular Imaging in Differentiating Between Malignant and Benign Solid Breast Masses [J]. Clin Breast Cancer, 2020, 20 (6): 786-793.
- [8] LEE D H, LEE J Y, HAN J K. Superb microvascular imaging technology for ultrasound examinations: Initial experiences for hepatic tumors[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(11):2090-2095.
- [9] LAN Y, LI N, SONG Q, *et al.* Correlation and agreement between superb micro-vascular imaging and contrast-enhanced ultrasound for assessing radiofrequency ablation treatment of thyroid nodules: a preliminary study [J]. BMC Med Imaging, 2021,21(1):175.
- [10] NATIONAL KIDNEY FOUNDATION. K/DOQI clinical practice guidelines for chronic kidney disease: evaluation, classification, and stratification[J]. Am J Kidney Dis, 2002,39(2 Suppl 1):S1-266.
- [11] 钟秋红,蓝家富,郭鹏威,等.彩色多普勒超声在慢性肾脏病血流动力学变化检测中应用的价值[J].海南医学院学报,2017,23 (3):390-393.
- [12] CAMPANHOLLE G, LIGRESTI G, GHARIB S A, *et al.* Cellular mechanisms of tissue fibrosis. 3. Novel mechanisms of kidney fibrosis[J]. Am J Physiol Cell Physiol, 2013, 304(7): 591-603.
- [13] 杨文琪,李红丽.超声造影评估慢性肾病的研究进展[J].临床超声医学杂志,2016,18(10):694-697.
- [14] 郭艳,于磊,王志洁,等.肾脏疾病肾穿刺活检病理特征分析[J].中国实用医药,2021,16(22):45-47.
- [15] 刘章锁,王沛.K/DOQI 指南关于慢性肾脏病分期的临床指导意义[J].中国实用内科杂志,2008,(1):21-24.
- [16] 谢帆.论 CKD3 期是中医辨证治疗慢性肾脏病的关键时期[J].内蒙古中医药,2021,40(11):133-135.
- [17] 赵胜利,李秀芬,耿喆.2 型糖尿病早期肾损害的彩色多普勒超声诊断研究[J].中国全科医学,2010,13(26):2910-2912.
- [18] STANZANI D, CHALA LF, BARROS ND, *et al.* Can Doppler or contrast-enhanced ultrasound analysis add diagnostically important information about the nature of breast lesions[J]. Clinics (Sao Paulo), 2014,69(2):87-92.
- [19] 周永昌,郭万学.超声医学[M].6 版.北京:人民军医出版社,2011:56-57.
- [20] 黄筠璐,丁中,张锋.超微血管成像技术在超声检查中的临床应用[J].淮海医药,2018,36(2):245-248.
- [21] PARK A Y, SEO B K. Up-to-date Doppler techniques for breast tumor vascularity: superb microvascular imaging and contrast-enhanced ultrasound[J]. Ultrasonography, 2018, 37(2): 98-106.
- [22] ZHAN J, DIAO X H, JIN J M, *et al.* Superb microvascular imaging-a new vascular detecting ultrasonographic technique for avascular breast masses: a preliminary study[J]. Eur J Radiol, 2016,85(5):915-921.
- [23] 潘志平.彩色多普勒超声在慢性肾脏病分期评估中的价值[J].实用妇科内分泌电子杂志,2020,7(7):177-178.