

增强 CT 评估肾积水患者肾功能受损

夏建峰, 黄泽和, 陈松

【摘要】 目的:探索利用双肾增强 CT 评估肾积水患者肾脏功能受损程度。方法:回顾性分析 74 例双肾增强 CT 检查数据,其中肾积水组(双肾积水患者)38 例,无肾积水组(双肾无积水者)36 例。采用独立样本 *t* 检验或 Mann-Whitney *U* 检验比较各项参数在两组间的差异,然后应用 Pearson 或 Spearman 检验分析肾积水组患者增强 CT 各项参数与估算肾小球滤过率(eGFR)的相关性。结果:肾积水组的 eGFR、皮质期双肾皮质强化均值、髓质期双肾皮质强化均值、髓质期双肾髓质 CT 升高均值、髓质期双肾髓质强化均值、皮质期双肾皮质强化率、髓质期双肾皮质强化率、髓质期双肾髓质强化率、双肾皮质厚度均值及双肾实质厚度均值都低于无肾积水组,而髓质期双肾皮质 CT 升高均值高于无积水组。以上差异均有统计学意义($P < 0.05$)。肾积水组 eGFR 与皮质期双肾皮质强化均值($r = 0.663, P < 0.001$)、皮质期双肾髓质强化均值($r = 0.344, P < 0.05$)、髓质期双肾皮质强化均值($r = 0.562, P < 0.001$)、髓质期双肾髓质 CT 升高均值($r = 0.489, P < 0.01$)、髓质期双肾髓质强化均值($r = 0.601, P < 0.001$)、皮质期双肾皮质强化率($r = 0.720, P < 0.001$)、髓质期双肾皮质强化率($r = 0.725, P < 0.001$)、髓质期双肾髓质强化率($r = 0.607, P < 0.001$)均具有相关性,其中以髓质期双肾皮质强化率($r = 0.725, P < 0.001$)为最。结论:双肾增强 CT 能够评估肾积水患者肾功能受损程度,为临床诊治提供参考信息。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 肾小球滤过率; 肾功能

【中图分类号】 R814.4; R446.1 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2021)10-1259-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.10.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Preliminary study of contrast-enhanced CT to assess renal impairment in patients with hydronephrosis

XIA Jian-feng, HUANG Ze-he, CHEN Song. Department of Radiology, the First People's Hospital of Qinzhou, Guangxi 535000, China

【Abstract】 Objective: To explore the value of contrast-enhanced CT in assessing the extent of renal impairment in patients with hydronephrosis. **Methods:** This retrospective study included 74 cases of enhanced CT examination data, with 38 cases in the hydronephrosis group (patients with hydronephrosis in both kidneys), and 36 cases in the group without hydronephrosis. The independent sample *T* test or Mann-Whitney *U* test was used to compare the differences of various parameters between the two groups. Pearson or Spearman test was used to analyze the correlation between enhanced CT parameters and estimated glomerular filtration rate (eGFR) in the hydronephrosis group of patients. **Results:** The eGFR, the mean cortical enhancement of both kidneys in cortical phase, the mean cortical enhancement of both kidneys in medullary phase, the mean medullary CT value increased of both kidneys in medullary phase, the mean medullary enhancement of both kidneys in medullary phase, the cortical enhancement rate of both kidneys in cortical phase, the cortical enhancement rate of both kidneys in medullary phase, the medullary enhancement rate of both kidneys in medullary phase, the mean cortical thickness of both kidneys, and the mean parenchyma thickness of both kidneys in hydronephrosis group were all lower than those in the group without hydronephrosis. The mean cortical CT value increased of both kidneys in medullary phase was higher than that in the group without hydronephrosis ($P < 0.05$). In the hydronephrosis group, the eGFR was correlated with the mean cortical enhancement of both kidneys in cortical phase ($r = 0.663, P < 0.001$), the mean medullary enhancement of both kidneys in cor-

tical phase ($r=0.344, P<0.05$), the mean cortical enhancement of both kidneys in medullary phase ($r=0.562, P<0.001$), the mean medullary CT value increased of both kidneys in medullary phase ($r=0.489, P<0.01$), the mean medullary enhancement of both kidneys in medullary phase ($r=0.601, P<0.001$), the cortical enhancement rate of both kidneys in cortical phase ($r=0.720, P<0.001$), the cortical enhancement rate of both kidneys in medullary phase ($r=0.725, P<0.001$), and the medullary enhancement rate of both kidneys in medullary phase ($r=0.607, P<0.001$). **Conclusion:** Renal contrast-enhanced CT was valuable in assessing the degree of renal function impairment in patients with hydronephrosis, and could provide information for clinical diagnosis and treatment.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Glomerular filtration rate; Kidney function

肾脏是人体必不可少的生命器官,具有排泄、调节及内分泌等重要的生理功能。肾功能不全时会出现内分泌功能、水电解质及酸碱平衡紊乱以及多种代谢产物、毒物稽留等危害。造成肾功能不全的原因很多,包括全身血液循环障碍、全身代谢障碍及肾脏疾病、尿路疾病等,其中,尿路疾病引起梗阻性肾积水是导致肾功能不全的重要原因之一^[1,2]。肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR)作为评估肾脏功能状态的最佳指标^[2-9],已广泛应用于临床。GFR测定以菊粉清除率为金标准^[3],但其测定程序繁琐、费时,不适合临床广泛应用。目前临床上一直沿用改良的简化肾脏疾病饮食调整(MDRD)公式来估算肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)^[4-6],但其无法提供分肾功能情况。单光子发射计算机断层成像(SPECT)肾动态显像方法可直观反映分肾的GFR值及尿路排泄情况,具有较好的准确性,已得到临床认可^[7-9],但在临床实践中存在昂贵、耗时、额外辐射、设备要求高及图像空间分辨率低等局限性。CT检查具有准确、简便、少辐射、图像分辨率高等优势,已广泛应用于临床。CT增强检查获得肾脏滤过功能信息并证实利用增强CT测定分肾GFR具有可行性^[7-9]。增强CT检查多被用于了解肾积水患者泌尿系梗阻情况,如果同时能评估肾脏功能则有可能成为临床最信赖、便捷、安全的检查手段。本研究通过分析增强CT多个参数与eGFR的相关性,探索增强CT在评估肾积水患者肾功能受损中的临床价值。

材料与方法

1. 一般资料

回顾性分析2017年1月—2020年2月到我院就诊并行双肾增强CT检查74例患者(表1),男44例,女30例,年龄21~89(55.61±14.96)岁, BMI 14.22~35.67(22.17±3.56)。双肾积水患者38例(肾积水组),双肾无积水者36例(无肾积水组)。纳入标准:成年人,临床疑似肾功能不全患者,已行双肾增强CT检查及血生化肾功能检查者。排除标准:近期(行双肾增强CT检查前后2日内)未行肾功能检查者,有增强CT检查禁忌症者,增强CT图像不清晰者,临床资料不齐者,单侧肾积水者,重度肾积水、肾实质明显变薄者,巨大铸状肾结石患者,肾患巨大占位性病变者,急、慢性肾小球肾炎或肾脏结核患者,肾动脉栓塞或肾梗死者,恶病质患者,患有心功能不全、高血压、全身性血液循环障碍、代谢障碍及免疫性疾病等影响肾功能的其他疾病患者。

2. CT扫描参数及图像后处理

使用德国西门子炫速双源CT扫描仪(Somatom Definition Flash)。常规腹盆部CT平扫后行增强扫描,扫描范围自膈上至盆底水平。扫描参数:管电压120 kV,管电流采用自动毫安技术,重建层厚0.6 mm,螺距为1。使用高压注射器经右肘前静脉团注对比剂碘克沙醇注射液(320 mg I/mL),用量1.5 mL/kg,注射流率3 mL/s,之后以相同流率注射生理盐水20 mL。皮质期采用阈值触发扫描,选取双侧肾门水平的腹主

表1 基本资料

基本资料	肾积水组 (n=38)	无肾积水组 (n=36)	t/Z	P
性别(男/女)	20/18	24/12	-1.221	0.222
年龄(岁)	56.53±13.573	54.64±16.44	-0.54	0.591
身高(cm)	162±8.07	165.5±10	-1.557	0.119
体重(kg)	57.5±16.25	60±10.41	-0.758	0.449
BMI(kg/cm ²)	22.21±3.95	22.13±3.16	-0.103	0.918
eGFR(ml/min·1.73m ²)	56.19±21.119	95.82±20.66	8.156	<0.001***

注:*** $P<0.001$

动脉为监测点,触发阈值设为 100 HU,皮质期扫描结束后 25 s 启动髓质期扫描。由两位具有 5 年以上工作经验的放射科医师分别进行数据采集。具体测量方法:①选取测量层面:各期测量均选用肾静脉入肾门层面。②肾大小测量:穿肾门测肾前后径,并与之垂直测肾内外径。③肾皮质厚度测量:于皮质期肾前后径方向测肾后皮质厚度,肾内外径方向测肾内、外皮质厚度,避开肾柱,取三者均值为最终测量值。④肾实质厚度测量:于髓质期肾前后径线方向测肾后实质厚度,肾内外径线上测肾内、外实质厚度,取三者均值为最终测量值。⑤主动脉 CT 值:肾门层面各期测 1 个圆形 ROI,ROI 面积为 $100\sim 150\text{ mm}^2$ 。⑥肾皮质 CT 值测量:肾门层面各期相同位置测 5 个平均分布的圆形 ROI,ROI 面积为 $10\sim 15\text{ mm}^2$,取平均值为最终测量值。⑦肾髓质 CT 值测量:肾门层面各期相同位置测 3 个不同肾锥体(近肾锥体底部区域)的圆形 ROI,ROI 面积为 $20\sim 30\text{ mm}^2$,取平均值为最终测量值。⑧计算各期分肾强化值及腹主动脉强化值:强化值=CT 增强-CT 平扫。⑨计算各期双肾强化均值:双肾强化均值=左右两肾强化值之和/2。⑩计算各期双肾强化率:双肾强化率=双肾强化均值/同期腹主动脉强化值。⑪. 计算双肾髓质期 CT 升高均值:双肾髓质期 CT 升高均值=双肾髓质期 CT 均值-双肾皮质期 CT 均值。⑫. 计算双肾皮质、实质厚度均值:厚度均值=左右两肾厚度值之和/2。⑬. 参考肾积水 0~4 级分级标准^[10]进行分组:肾积水 0 级归为无肾积水组,肾积

水 I~IV 级均归为肾积水组(图 1、2)。

3. 临床指标

记录每例受试者一般临床情况:性别、年龄、身高、体重及 eGFR,eGFR 在 CT 扫描前后 2d 内测量。据身高、体重计算体质指数(BMI),计算公式: $\text{BMI}(\text{kg}/\text{m}^2)=\text{体重}(\text{kg})/\text{身高}^2(\text{cm}^2)$ 。

4. 统计分析

使用 SPSS 23.0 统计软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,不符合正态分布的计量资料以中位数±四分位间距表示。据计量资料是否符合正态分布,采用独立样本 *T* 检验或 Mann-Whitney *U* 检验分别比较肾积水组与无肾积水组 3 期双肾皮质 CT 均值、3 期双肾髓质 CT 均值、3 期主动脉 CT 值、双肾皮质厚度均值、双肾实质厚度均值等各项 CT 检查参数是否存在差异。据计量资料是否符合正态分布,应用 Pearson 或 Spearman 检验对肾积水组患者增强 CT 各项参数分别与 eGFR 进行相关性分析,相关系数 *r* 绝对值取值范围为 $0\sim 1$, $(0<|r|\leq 0.2)$ 为极弱相关或无相关, $0.2<|r|\leq 0.4$ 为弱相关, $0.4<|r|\leq 0.6$ 为中度相关, $0.6<|r|\leq 0.8$ 为强相关, $0.8<|r|\leq 1$ 为极强相关)。 $P<0.05$ 为有统计学意义。

结 果

1. 肾积水组与无肾积水组间的差异分析

肾积水组 eGFR、皮质期双肾皮质强化均值、髓质期双肾皮质强化均值、髓质期双肾髓质 CT 升高均值、

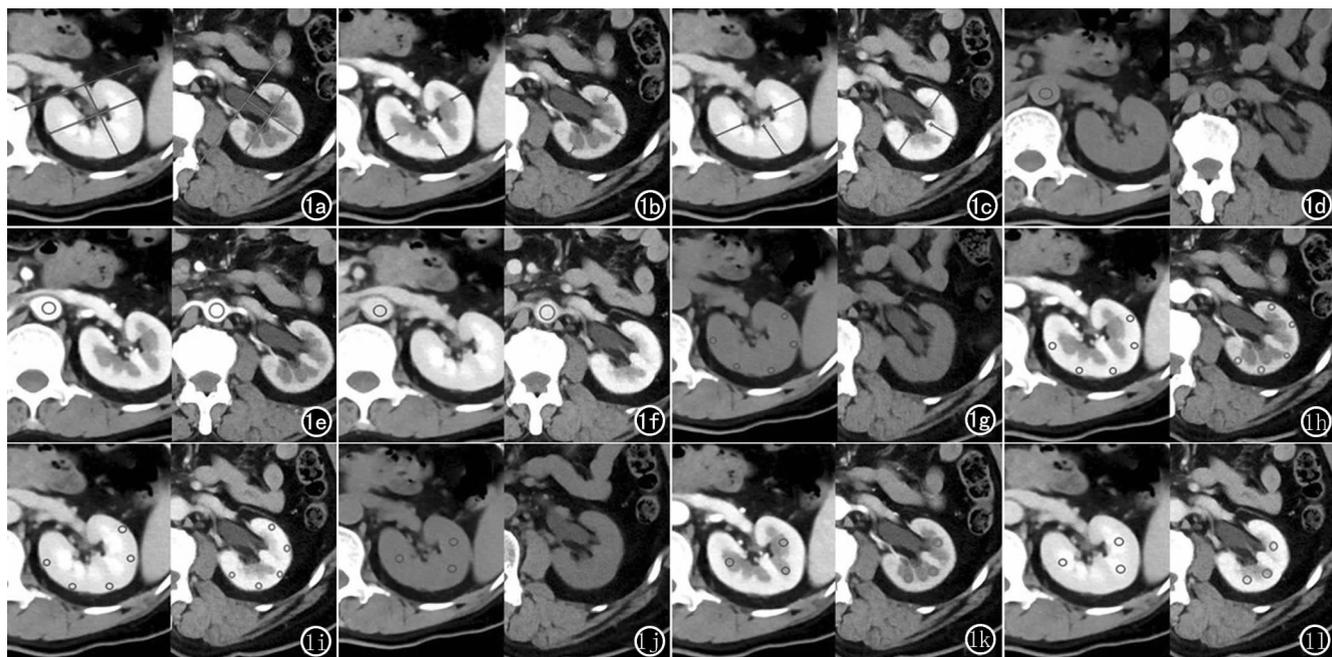


图 1 测量方法。a) 肾实质前后、内外径测量方法; b) 肾皮质厚度测量方法; c) 肾实质厚度测量方法; d~f) 平扫、皮质期、髓质期腹主动脉 CT 值测量方法; g~i) 平扫、皮质期、髓质期肾皮质 CT 值测量方法; j~l) 平扫、皮质期、髓质期肾髓质 CT 值测量方法。

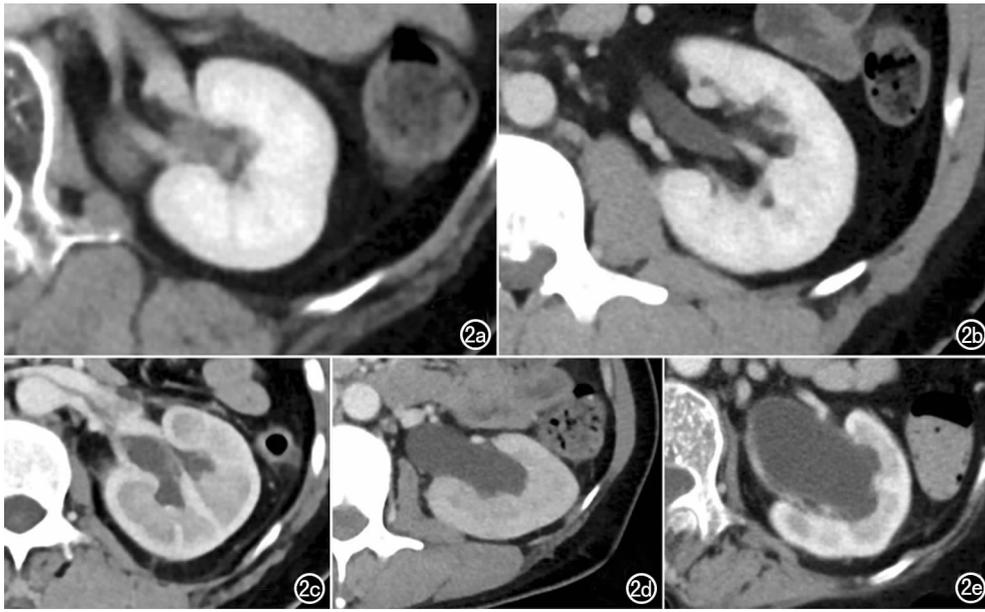


图2 肾积水分级方法。a) 无肾盂肾盏扩张, 0级; b) 仅肾盂扩张, I级; c) 肾盂肾盏轻度扩张 II级; d) 肾盂肾盏重度扩张, III级; e) 肾盂肾盏扩张并肾实质萎缩, IV级。

髓质期双肾髓质强化均值、皮质期双肾皮质强化率、髓质期双肾皮质强化率、髓质期双肾髓质强化率、双肾皮质厚度均值及双肾实质厚度均值都低于无肾积水组, 而髓质期双肾皮质 CT 升高均值高于无积水组。以上差异均有统计学意义($P < 0.05$, 图 3、表 2)。

2. 肾积水组双肾增强 CT 参数与 eGFR 的相关性分析

本研究肾积水组 eGFR 与皮质期双肾皮质强化均值($r = 0.663, P < 0.001$)、皮质期双肾髓质强化均值($r = 0.344, P < 0.05$)、髓质期双肾皮质强化均值($r =$

$0.562, P < 0.001$)、髓质期双肾髓质 CT 升高均值($r = 0.489, P < 0.01$)、髓质期双肾髓质强化均值($r = 0.601, P < 0.001$)、皮质期双肾皮质强化率($r = 0.720, P < 0.001$)、髓质期双肾皮质强化率($r = 0.725, P < 0.001$)、髓质期双肾髓质强化率($r = 0.607, P < 0.001$)均具有相关性。其中皮质期双肾皮质强化均值、髓质期双肾髓质强化均值、皮质期双肾皮质强化率、髓质期双肾皮质强化率及髓质期双肾髓质强化率均为强相关(图 4), 尤以髓质期双肾皮质强化率($r = 0.725, P < 0.001$)为最(表 3)。

讨论

单侧肾积水只要对侧肾完好可功能代偿而无肾功能受损, 但双侧尿路梗阻性肾积水可致急性肾损伤引起肾小球滤过功能障碍, 导致肾功能不全甚至肾功能衰竭^[1,2]。非离子型碘对比剂在肾脏代谢过程与菊粉相似^[3,7,9], 主要通过肾脏排泄, 可用于 eGFR 的测量标志物^[3,5-9]。CT-GFR 与 Gates-GFR 具有显著相关性^[7-9]。这使得增强 CT 可成为了解肾积水尿路梗阻情况及评估肾功能受损程度的一站式检查项目。

表 2 肾积水组与无积水组间的差异分析

参数	肾积水组 (n=38)	无肾积水组 (n=36)	t/Z	P
年龄(岁)	56.53±13.57	54.64±16.44	-0.54	0.591
身高(cm)	162±8.07	165.5±10	-1.557	0.119
体重(kg)	57.5±16.25	60±10.41	-0.758	0.449
BMI(kg/cm ²)	22.21±3.95	22.13±3.16	-0.103	0.918
eGFR(ml/min·1.73m ²)	56.19±21.119	95.82±20.66	8.156	<0.001***
皮质期双肾皮质强化均值(HU)	87.75±40.88	128.12±19.34	4.972	<0.001***
皮质期双肾髓质强化均值(HU)	33.45±10.24	28.25±11.82	-1.12	0.263
髓质期双肾皮质 CT 升高均值(HU)	23.58±20.12	4.47±24.24	-3.346	0.001**
髓质期双肾皮质强化均值(HU)	115.25±32.25	132.59±19.45	-3.218	0.001**
髓质期双肾髓质 CT 升高均值(HU)	53.75±32.13	99.30±26.95	-5.554	<0.001***
髓质期双肾髓质强化均值(HU)	93.27±24.62	130.89±28.34	-5.024	<0.001***
皮质期双肾皮质强化率	0.39±0.16	0.52±0.08	5.222	<0.001***
皮质期双肾髓质强化率	0.13±0.05	0.13±0.04	-1.157	0.247
髓质期双肾皮质强化率	1.08±0.28	1.31±0.16	4.316	<0.001***
髓质期双肾髓质强化率	0.82±0.33	1.37±0.33	-5.105	<0.001***
双肾皮质厚度均值(mm)	5.33±0.87	6.04±0.77	-3.326	0.001**
双肾实质厚度均值(mm)	18.43±2.01	20.03±1.94	3.476	0.001**

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$

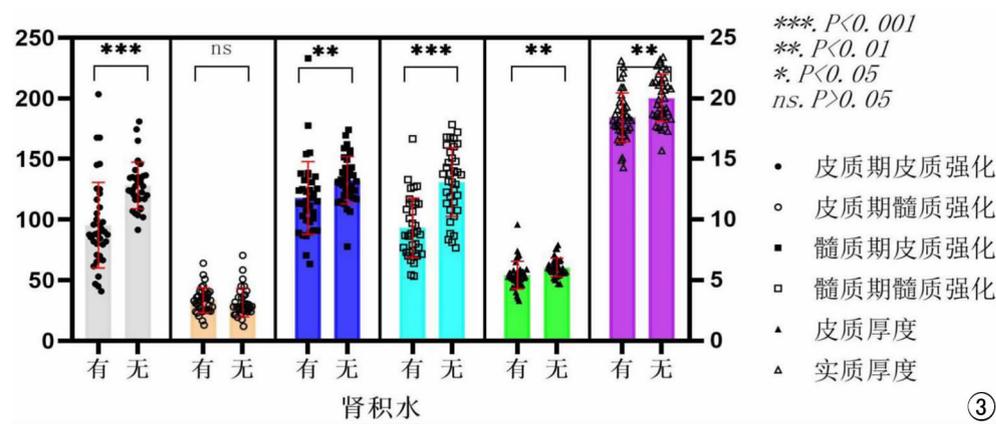


图3 两组增强CT各项参数差异比较

表3 肾积水组双肾增强CT各项参数与eGFR间的相关性分析

参数	r	P
皮质期双肾皮质强化均值(HU)	0.663	<0.001***
皮质期双肾髓质强化均值(HU)	0.344	0.034*
髓质期双肾皮质CT升高均值(HU)	-0.264	0.109
髓质期双肾皮质强化均值(HU)	0.562	<0.001***
髓质期双肾髓质CT升高均值(HU)	0.489	0.002**
髓质期双肾髓质强化均值(HU)	0.601	<0.001***
皮质期双肾皮质强化率	0.720	<0.001***
皮质期双肾髓质强化率	0.279	0.090
髓质期双肾皮质强化率	0.725	<0.001***
髓质期双肾髓质强化率	0.607	<0.001***

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$; $0 < |r| \leq 0.2$ 为极弱相关或无相关, $0.2 < |r| \leq 0.4$ 为弱相关, $0.4 < |r| \leq 0.6$ 为中度相关, $0.6 < |r| \leq 0.8$ 为强相关, $0.8 < |r| \leq 1$ 为极强相关。

增强CT肾功能测算主要基于Patlak法将肾脏分为血管空间(肾小球)和肾小管空间的肾脏模型^[9]。本研究发现平扫、皮质期及髓质期3期肾皮质强化呈轻度上升趋势,其中肾积水组上升幅度(髓质期双肾皮质CT升高值)大于无肾积水组;肾髓质强化呈明显上升

趋势,其中肾积水组上升幅度(髓质期双肾髓质CT升高值)小于无肾积水组。肾皮质富含血管,主要由肾小体及肾小管构成。血流经过肾脏主要分布于肾皮质,肾皮质强化反映了肾皮质(血管空间)的灌注。肾积水时肾小管受压变窄可以引起肾小球囊内压升高,造成肾小球有效滤过压降低,阻碍肾小球滤过,影响肾皮质灌注。故肾积水组皮、髓两期肾皮质强化均值及强化率均低于无肾积水组并与eGFR正相关。另外由于皮质灌注在皮质期受影响比髓质期明显,所以肾积水组皮质强化程度在皮质期降低比髓质期更显著,故肾积水组髓质期肾皮质CT升高值只反映肾皮质在髓质期灌注状态是否持续,并不影响肾小球滤过,故与eGFR无相关性。肾髓质含血管较少,主要肾锥体构成,其内含较多细小管道,主要有肾小管及集合管。肾髓质强化反映了对比剂进入肾髓质(肾小管空间)的量,由于对比剂通过肾

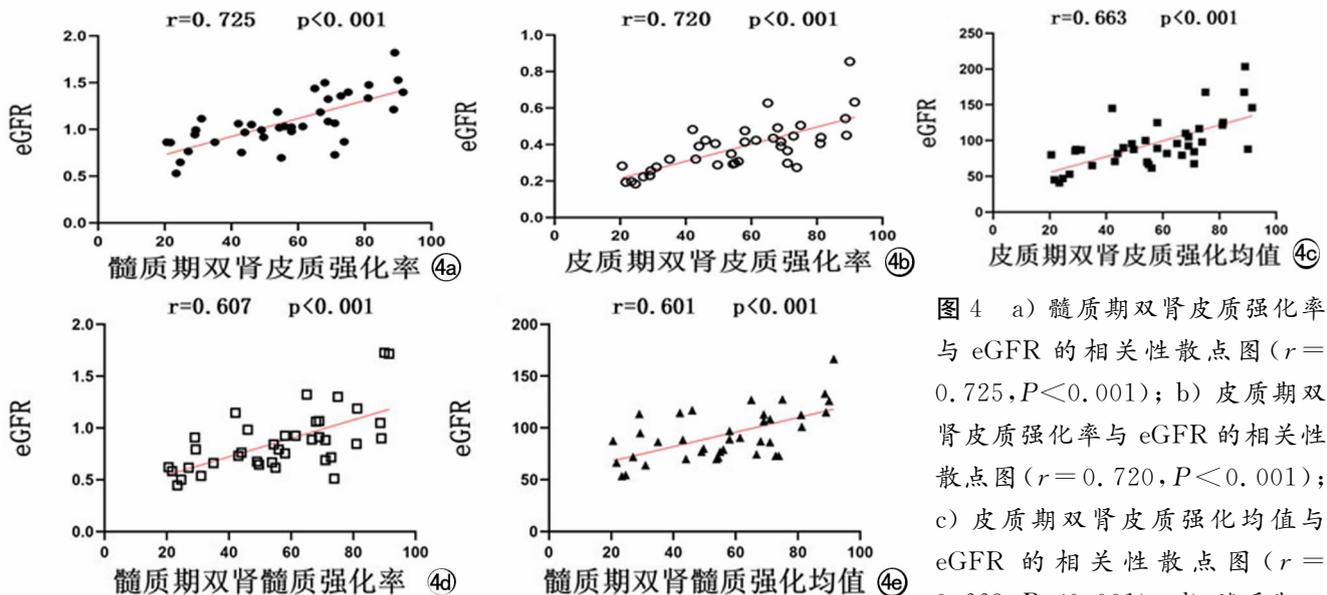


图4 a) 髓质期双肾皮质强化率与eGFR的相关性散点图($r = 0.725, P < 0.001$); b) 皮质期双肾皮质强化率与eGFR的相关性散点图($r = 0.720, P < 0.001$); c) 皮质期双肾皮质强化均值与eGFR的相关性散点图($r = 0.663, P < 0.001$); d) 髓质期双肾皮质强化率与eGFR的相关性散点图($r = 0.607, P < 0.001$); e) 髓质期双肾髓质强化均值与eGFR的相关性散点图($r = 0.601, P < 0.001$)。

小球滤过后不被肾小管及集合管吸收或分泌,所以也可反映肾小球的滤过功能^[2,3,6-9],故髓质强化与 GFR 具有相关性。但在皮质期,髓质仅有少量对比剂流入,不能全面的反映髓质的强化表现,故本研究中皮质期髓质强化均值及强化率在两组间差异均无统计学意义,肾积水组皮质期髓质强化均值与 eGFR 仅具有弱相关性。髓质期髓质强化呈明显上升趋势,主要由于对比剂在肾脏血管空间(肾小球)滤过到肾小管空间的过程中需要经过血管外空间(鲍曼囊),而这个过程是不可逆的^[9]。当肾积水时肾盂肾盏因压力增大而扩张,进而引起肾集合管及肾小管受压变窄,引起肾小球有效滤过压降低,从而降低肾小球滤过功能,故髓质期对比剂流入髓质的量减少,表现为肾积水组髓质期髓质强化值及强化率低于无肾积水组,并与 eGFR 正相关。此外因皮质期双肾髓质强化均值在两组间差异无统计学意义,所以肾积水组髓质期双肾髓质 CT 升高值亦低于无积水组。双肾皮质厚度反映了肾单位的数量,肾积水肾盂肾盏压力增大,造成肾小管及肾血管受压引起肾单位坏死丢失致肾皮质变薄。双肾实质厚度包括肾皮质及髓质,前者已分析,而后者反映了肾锥体的体积。肾积水肾盂肾盏扩张,压力增大直接压迫肾锥体造成肾锥体缩小甚至坏死进而导致肾实质变薄。

GFR 作为评估肾功能程度最常用的临床指标之一。前人在 CT-GFR 研究中多以研究肾皮质^[2,6]或肾实质为主^[7-9],而髓质研究较少文献报道。本研究发现髓质期髓质各增强 CT 参数在肾积水组与无肾积水组间差异均具有统计学意义;eGFR 与肾积水组髓质期髓质各增强 CT 参数及皮质期髓质强化值均具有相关性。证明了髓质参数可能是增强 CT 评估肾功能的可靠指标。由于肾小球对比剂滤过流入肾小管的过程不可逆,以及髓质存在渗透浓度梯度现象,故在一定时间内髓质强化处于上升阶段,而该阶段持续时间比皮质长,扫描时容易捕捉。杨征宇等^[9]认为实质体积和强化值乘积(VE)与 Gates-GFR 相关系数在实质期(延时 120s)比动脉期、静脉期(延时 30s)高,而延时 120s 的肾脏强化以髓质为主,表明适当延迟扫描髓质的价值更高,同时也证明了髓质在评估肾功能中具有可观的研究价值。

本研究中皮质期肾皮质强化程度与 eGFR 呈正相关,与相关文献一致^[2,6];髓质期皮质强化均值与 eGFR 呈正相关($r=0.562, P<0.001$)与相关文献($r=$

$0.104, P=0.286$)不一致^[6]。分析原因可能是该文献所研究引起肾功能受损的病因是肝硬化而非梗阻性肾积水所造成的;另该文献的扫描方案与本研究不同,亦有可能造成一定影响。

本研究具有一些局限性:①本研究的样本量较小,部分数据存在偏差,需进一步加大样本量。②所有肾脏数据采用手工测量存在人为误差,后续研究将围绕如何通过计算机软件自动获取各项参数。③GFR 没有采用菊粉清除率为金标准来检验。④没有采集单侧肾积水患者样本。

总之,肾积水患者双肾增强 CT 检查不仅能提供肾脏解剖结构信息,还能对早期肾功能受损程度进行评估,为临床诊治提供参考信息。

参考文献:

- [1] Kazama I, Nakajima T. Postrenal acute kidney injury in a patient with unilateral ureteral obstruction caused by urolithiasis: A case report. [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(43): e8381.
- [2] 罗锦文, 邓义, 杜国新, 等. 双低剂量尿路成像在梗阻性肾积水肾功能评价中的应用研究[J]. *泰山医学院学报*, 2018, 39(2): 130-132.
- [3] Salvador CL, Tøndel C, Rowe AD, et al. Estimating glomerular filtration rate in children: evaluation of creatinine- and cystatin C-based equations[J]. *Pediatr Nephrol*, 2019, 34(2): 301-311.
- [4] 徐冷楠, 陈爱群, 李传保, 等. 70 岁及以上老年人不同肾小球滤过率估算方程评估比较[J]. *中华老年医学杂志*, 2019, 38(12): 1334-1338.
- [5] Nyman U, Grubb A, Larsson A, et al. The revised Lund-Malm GFR estimating equation outperforms MDRD and CKD-EPI across GFR, age and BMI intervals in a large Swedish population[J]. *Clin Chem Lab Med*, 2014, 52(6): 815-824.
- [6] 张玉玲, 褚志强, 李婧瑶, 等. CT 增强扫描评估肝硬化患者早期肾功能损伤的初步研究[J]. *放射学实践*, 2019, 34(12): 1364-1369.
- [7] 曹琳, 夏庆来, 张悦, 等. 利用 CT 尿路造影定量评价肾肿瘤及积水患者分肾肾小球滤过率的临床价值[J]. *中华放射学杂志*, 2019(4): 299-304.
- [8] XiaoDong Yuan, Wei Tang, WenWei Shi, et al. Determination of glomerular filtration rate (GFR) from fractional renal accumulation of iodinated contrast material: a convenient and rapid single-kidney CT-GFR technique[J]. *European Radiology*, 2018, 28(7): 2763-2771.
- [9] 杨征宇, 杨光, 袁小东. 肾脏增强 CT 三期扫描用于测量肾功能的可行性和准确性初探[J]. *中国医疗设备*, 2018, 33(10): 79-82.
- [10] Ito Y, Kikuchi E, Tanaka N, et al. Preoperative hydronephrosis grade independently predicts worse pathological outcomes in patients undergoing nephroureterectomy for upper tract urothelial carcinoma[J]. *J Urol*, 2011, 185(5): 1621-1626.

(收稿日期: 2020-11-18 修回日期: 2021-03-25)