



· 论 著 ·

# 光谱CT碘定量评估肾肿瘤患者分肾功能

李阳蕾<sup>1</sup>, 梁 梦<sup>2</sup>, 王鑫超<sup>2</sup>, 武志芳<sup>2</sup>

1. 山西白求恩医院(山西医学科学院), 山西医科大学第三医院, 同济山西医院放射科, 山西 太原 030032

2. 山西医科大学第一医院核医学科, 山西 太原 030001

[摘要] 目的: 探究利用光谱计算机断层成像(computed tomography, CT)碘定量评估肾肿瘤患者分肾功能的潜在临床应用价值。方法: 回顾并分析50例2周内先后行光谱CT肾脏多期增强及核素肾动态显像的肾肿瘤患者。光谱CT肾脏多期增强扫描采用标准的腹部3期增强方案。手动勾画光谱CT参数肾脏体积(volume, V)、平均CT值(Hounsfield unit, HU)、平均碘浓度值(iodine concentration, IC), 并将平均IC与肾脏体积相乘得到碘对比剂累积量K值, 同时使用简化的Patlak方程计算得到分肾CT清除率。根据<sup>99m</sup>Tc-二亚乙基三胺五乙酸(<sup>99m</sup>Tc-diethylene triaminepentaacetic acid, <sup>99m</sup>Tc-DTPA)肾动态显像盖茨法肾小球滤过率(Gates glomerular filtration rate, Gates GFR)参考值, 将100个肾脏分为分肾功能正常组(Gates GFR $\geq$ 40 mL/min)、分肾功能受损组(Gates GFR $<$ 40 mL/min)两组。采用Kruskal-Wallis H检验比较两组间光谱CT各参数的差异, 并将各参数与肾动态显像所得Gates GFR进行Spearman相关性分析。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线得出分肾CT清除率区分分肾功能正常和分肾功能受损的最佳诊断阈值。结果: 光谱CT所得肾脏体积V、动脉期平均CT值HU(t1)、静脉期平均CT值HU(t2)、动脉期平均碘浓度值IC(t1)、静脉期平均碘浓度值IC(t2)、动脉期肾脏碘对比剂累积量K(t1)、静脉期肾脏碘对比剂累积量K(t2)及分肾CT清除率两组之间的差异均有统计学意义( $Z/t=-4.459, 2.815, -3.313, 2.611, -3.609, -4.395, -5.637, -5.815$ , 均 $P<0.05$ ); 并且上述各参数均与GFR相关( $r=0.489, 0.339, 0.481, 0.361, 0.531, 0.590, 0.724, 0.740$ , 均 $P<0.001$ )。区分分肾功能正常与受损的碘定量分肾CT清除率界值为543 mg。结论: 光谱CT各参数均可反映分肾功能, 其中光谱CT碘定量分肾CT清除率与Gates GFR相关性最高并能区分肾功能是否受损, 具有潜在的临床应用价值。

[关键词] 肾肿瘤; 光谱CT; 碘浓度; 肾动态显像; 分肾功能

中图分类号: R737.11; R445.2; R445.5 文献标志码: A DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2024.04.010

**Assessment of split renal function in patients with renal tumors by spectral detector computed tomography using iodine quantification** LI Yanglei<sup>1,2</sup>, LIANG Meng<sup>2</sup>, WANG Xinchao<sup>2</sup>, WU Zhifang<sup>2</sup> (1. Department of Radiology, Shanxi Bethune Hospital, Shanxi Academy of Medical Sciences, Third Hospital of Shanxi Medical University, Tongji Shanxi Hospital, Taiyuan 030032, Shanxi Province, China; 2. Department of Nuclear Medicine, The First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, Shanxi Province, China)

Correspondence to: WU Zhifang E-mail: wuzhifang01@163.com

[Abstract] **Objective:** To explore the potential clinical value of spectral detector computed tomography (SDCT) iodine quantification in assessing the split renal function impairment in patients with renal tumor. **Methods:** This retrospective study included 50 patients with renal tumors who underwent both multiphasic enhanced renal SDCT and renal dynamic imaging within two weeks. SDCT scans were performed using a normal enhanced abdominal protocol. Renal volumes (V), mean CT number (HU), and mean iodine concentration (IC) were delineated manually. The cumulative amount of iodine contrast media (K) was the product of IC and V. Clearance of single kidney was calculated using a simplified "two-point Patlak plot". The patients' kidneys were divided into two groups according to <sup>99m</sup>Tc-diethylene triamine pentaacetic acid (<sup>99m</sup>Tc-DTPA) Gates glomerular filtration rate (Gates GFR): normal (Gates GFR $\geq$ 40 mL/min), and impaired (Gates GFR $<$ 40 mL/min) group. SDCT parameters were compared between groups using Kruskal-Wallis H test. Correlation between SDCT parameters and Gates GFR was analyzed using Spearman's coefficient.

通信作者: 武志芳 E-mail: wuzhifang01@163.com

Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was performed to determine optimal diagnostic threshold for clearance of single kidney to distinguish between normal and impaired renal function. **Results:** The  $V$ , mean HU of arterial phase-HU(t1), mean HU of parenchymal phase-HU (t2), mean IC of arterial phase-IC (t1), mean IC of parenchymal phase-IC (t2),  $K$  of arterial phase- $K$  (t1),  $K$  of parenchymal phase- $K$  (t2) and the clearance of single kidney between the groups were statistically significant ( $Z/t=-4.459, 2.815, -3.313, 2.611, -3.609, -4.395, -5.637, -5.815; P<0.05$ ); and those parameters were related to Gates GFR ( $r=0.489, 0.339, 0.481, 0.361, 0.531, 0.590, 0.724, 0.740; P<0.001$ ). The cutoff value of clearance in distinguishing normal from impaired renal function was 543 mg. **Conclusion:** All parameters of SDCT could reflect split renal function, among which the clearance had the highest correlation with Gates GFR and could be used in diagnosis of impaired split renal function, which was meaningful in clinical work.

[ **Key words** ] Renal tumor; Spectral detector computed tomography; Iodine concentration; Renal dynamic imaging; Split renal function

分肾功能的评估在肾肿瘤的术前评估、手术方式的选择及术后残余肾功能的预测中至关重要<sup>[1]</sup>, 且与治疗方案的选择密切相关。近年来已经有大量研究<sup>[2-4]</sup>证明增强计算机体层成像 (computed tomography, CT) 不仅能提供肾脏准确的解剖结构及血流信息, 还可以在在一定程度上对分肾功能进行评估, 但是目前尚无统一标准。能谱CT能够提供碘浓度图、能谱曲线图等更多的影像学信息, 广泛应用于头颈、心脏、胸腹部脏器各个组织器官的检查<sup>[5-9]</sup>, 但是能谱CT在肾功能方面的应用还未见报道。

本研究利用光谱CT肾脏多期增强扫描, 通过物质分离技术获得反映肾功能的多个光谱CT定量参数, 并与<sup>99m</sup>Tc-二亚乙基三胺五乙酸 (<sup>99m</sup>Tc-diethylene triamine pentaacetic acid, <sup>99m</sup>Tc-DTPA) 肾动态显像盖茨法肾小球滤过率 (Gates glomerular filtration rate, Gates GFR) 进行相关性分析, 探索光谱CT碘定量评估分肾功能的临床价值。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

选取2021年1月—9月山西医科大学第一医院2周内既完成光谱CT双肾多期增强检查, 又完成核素肾动态成像检查的肾肿瘤患者。纳入标准: ① 年龄大于18岁; ② 图像清晰。排除标准: ① 畸形肾; ② 临床资料不全者。共收集50例患者, 100个肾脏, 根据《中国活体供肾移植临床指南(2016版)》<sup>[10]</sup>分为分肾功能正常

组 (Gates GFR $\geq$ 40 mL/min)、分肾功能受损组 (Gates GFR $<$ 40 mL/min)。本回顾性研究通过了山西医科大学第一医院临床伦理委员会的审查并获得所有患者的书面知情同意书。

### 1.2 采集方法

#### 1.2.1 光谱CT图像采集方法

采用荷兰Philips公司的IQon Spectral 64排双层探测器螺旋CT机。扫描前20 min饮水500 mL。扫描时选用腹部增强3期扫描协议, 电压120 kV, 电流自动匹配, 转速0.5 s/圈, 螺距0.984, 层厚5.0 mm, 重建薄层为0.90 mm, 扫描范围为肝脏膈顶部至耻骨联合下缘。使用高压注射器经肘正中静脉团注等渗非离子型二聚体对比剂碘克沙醇注射液 (含碘320 mg/mL), 速率为3 mL/s, 造影剂总量80 mL。动脉期图像采集使用Bolus Tracking软件系统实时峰值跟踪法, 设定阈值150 HU, 检测观察层面设在膈肌水平腹主动脉, 当达到监测阈值150 HU时延迟7 s (扫描移床时间为7 s) 开始图像采集, 扫描时间约5 s; 动脉期采集结束后延迟40 s开始静脉期采集; 静脉期扫描结束3 min后进行延迟扫描。嘱患者每次采集均遵循呼吸指令“吸气-屏气-喘气”, 以保证在屏气状态下采集图像, 减少呼吸伪影。

#### 1.2.2 <sup>99m</sup>Tc-DTPA肾动态图像采集

采用GE公司的双探头Infinia-Hawkeye SPECT采集图像。核素示踪剂为北京欣科思达医药科技有限公司提供的<sup>99m</sup>Tc-DTPA (放射性化学纯度 $>$ 95%)。患者检查前30 min饮水500 mL充分水化并排空膀胱。检查时首先对装有<sup>99m</sup>Tc-DTPA的满针注射器计数采集1 min, 完毕嘱患者仰卧于

检查床上,使整个泌尿系包括在探头视野内。采用前臂肘静脉弹丸式注射3~5 mCi (1 mCi=3.7×10<sup>7</sup> Bq)的核素<sup>99m</sup>Tc-DTPA,同时启动双探头前后位采集程序,进行动态采集。前1 min为血流灌注相,动态采集图像速度为1帧/2 s,共30帧,之后19 min为功能相,采集速度为1帧/1 min,共20帧。采集完毕后对注射后空针计数采集60 s。

### 1.3 图像分析

#### 1.3.1 光谱CT图像分析

在星云后处理工作站进行感兴趣区(region of interest, ROI)的勾画及数据测量。ROI尽量接近肾脏表面,仅包含肾实质,不包含较大囊肿、肿瘤、肾门脂肪以及动脉和静脉大血管(图1)。将动脉期和静脉期常规数据及能谱数据逐层沿肾脏实质轮廓手动勾画ROI后取平均值,分别得到动脉期和静脉期的平均CT值、平均碘浓度值(iodine concentration, IC),平均

动脉期CT值、平均静脉期CT值、平均动脉期IC、平均静脉期IC分别表示为HU(t<sub>1</sub>)、HU(t<sub>2</sub>)、IC(t<sub>1</sub>)、IC(t<sub>2</sub>)。在肾门层面腹主动脉中心勾画面积为50 mm<sup>2</sup>的ROI表示动脉期以及静脉期腹主动脉IC—b(t<sub>1</sub>)、b(t<sub>2</sub>)。在静脉期常规图像中,使用Clip & 3D分割工具自动选择肾体积(volume, V),然后使用编辑工具在每层轴位图像上手动编辑,以避免病变、邻近器官、盆骨和肾门血管,每例患者约2 min。K(单位mg)为IC和V的乘积,表示动脉期和静脉期肾脏中碘造影剂的累积量—K(t<sub>1</sub>)、K(t<sub>2</sub>)。以上均由2名高年资(工作10年以上)影像科医师在双盲条件下进行测量。在测得以上这些基本参数上,同时基于简化的Patlak方程<sup>[11]</sup>,推导出光谱CT IC计算分肾CT清除率公式:分肾CT清除率(左肾或右肾)=K(t<sub>2</sub>)-[b(t<sub>2</sub>)/b(t<sub>1</sub>)]×K(t<sub>1</sub>)。

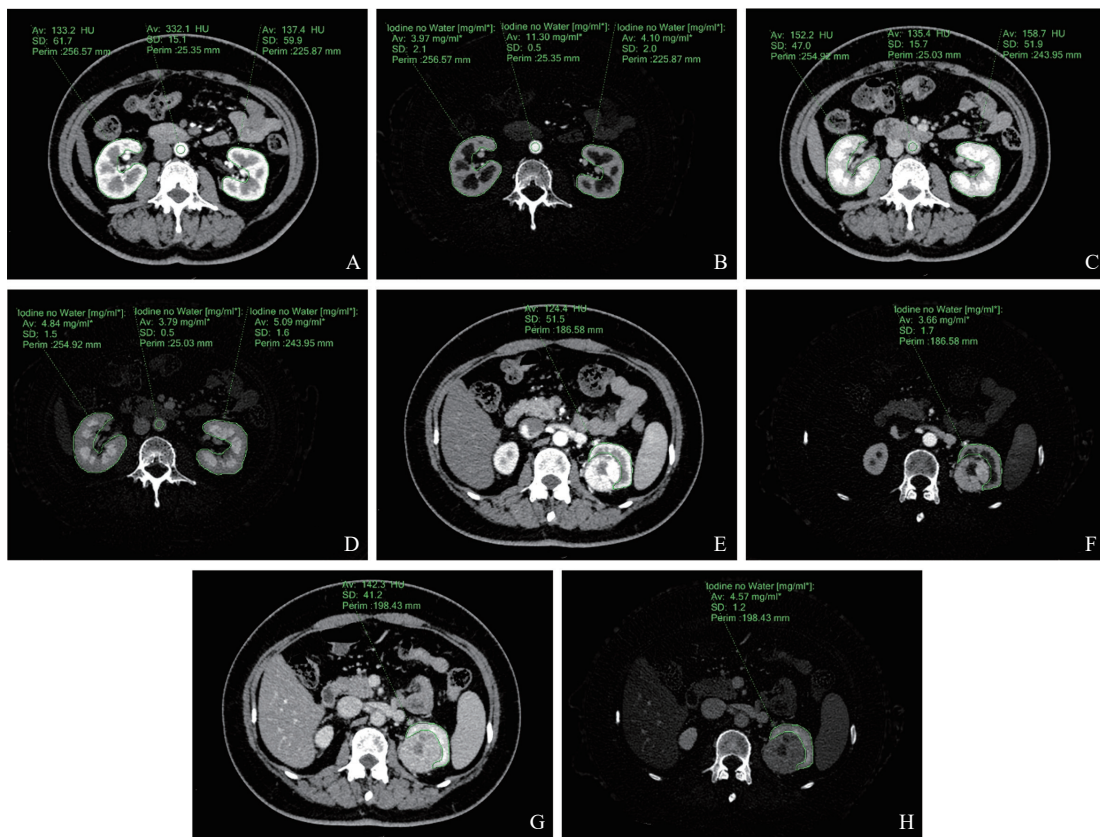


图1 左肾透明细胞癌患者的常规CT图及碘图ROI勾画

A: 动脉期常规图像肾门层面ROI勾画方法以及所测得CT值; B: 动脉期无水碘图肾门层面ROI勾画方法以及所测得IC值; C: 静脉期常规图像肾门层面ROI勾画方法以及所测得CT值; D: 静脉期无水碘图肾门层面ROI勾画方法以及所测得IC值; E: 动脉期常规图像肾肿瘤最大径层面ROI勾画方法; F: 动脉期无水碘图肾肿瘤最大径层面ROI勾画方法; G: 静脉期常规图像肾肿瘤最大径层面ROI勾画方法; H: 静脉期无水碘图肾肿瘤最大径层面ROI勾画方法。

### 1.3.2 肾动态显像图像分析

在GE XELERIS 6200工作站肾动态软件中输入<sup>99m</sup>Tc-DTPA放射性计数及患者的身高、体重等数据，依次正确勾画双肾轮廓及其本底、腹主动脉的ROI，经计算机采用Gates法处理得到双肾Gates GFR。

### 1.4 统计学处理

采用SPSS 22.0统计学软件进行分析。符合正态分布的定量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示，组间比较采用独立样本 $t$ 检验；非正态分布的定量资料采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示，采用Kruskal-Wallis  $H$ 检验。定性资料组间比较采用 $\chi^2$ 检验。对差异有统计学意义的指标进行Spearman秩相关分析。对 $r$ 值最大的参数进行组间受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析，分析其曲线下面积、灵敏度、特异度、截断值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料

本研究以肾脏为单位进行统计学分析，其中，无肿瘤肾脏50个；良性肾肿瘤肾脏6个，均为血管平滑肌脂肪瘤，肿瘤最大径均 $\leq 4$  cm；恶性肾肿瘤肾脏共44个，包括透明细胞癌肾脏39个，嫌色细胞癌肾脏2个，乳头状肾细胞癌肾脏3个，其瘤体大小分期见表1。在分肾功能上，按照Gates GFR参考值分为两组，分肾功能正常组肾脏37个，包括非肿瘤肾脏35个，肿瘤肾脏2个；分肾功能受损组肾脏63个，包括非肿瘤肾脏15个，肿瘤肾脏48个。分肾功能正常组与分肾功能受损组组间一般临床资料差异无统计学意义( $P > 0.05$ , 表2)。50例患者包含15例双肾功能均受损，瘤体直径4 cm以下的肾透明细胞癌患者13例，瘤体直径4~7 cm的肾透明细胞癌患者2例；33例肿瘤肾肾功能受损，非肿瘤肾肾功能正常；2例双肾均功能正常，均为瘤体直径4 cm以下的肾透明细胞癌患者。

表1 良恶性肾肿瘤资料

性质	肿瘤最大径 $d/cm$	数量	类型	分期
良性	$d \leq 4$	6	血管平滑肌脂肪瘤	—
恶性	$d \leq 4$	2	嫌色细胞癌	T1aN0M0
	$d \leq 4$	3	乳头状肾细胞癌	T1aN0M0
	$d \leq 4$	30	透明细胞癌	T1aN0M0
	$4 < d \leq 7$	7	透明细胞癌	T1bN0M0
	$7 < d \leq 10$	2	透明细胞癌	T2aN0M0

表2 基线临床与人口统计学特征

指标	正常组( $n=37$ )	受损组( $n=63$ )	$Z/\chi^2$ 值	$P$ 值
男性:女性	14:23	30:33	1.440	0.230
年龄/岁	55(40, 67)	57(49, 66)	-0.386	0.700
身高/cm	165(160, 169)	163(158, 170)	-0.465	0.642
体重/kg	62(55, 70)	62(52, 71)	-0.186	0.852

### 2.2 光谱CT各参数组间比较

光谱CT各参数 $V$ 、HU( $t1$ )、HU( $t2$ )、IC( $t1$ )、IC( $t2$ )、 $K$ ( $t1$ )、 $K$ ( $t2$ )、分肾CT清除率组间差异均有统计学意义( $P < 0.05$ , 表3)。

表3 光谱CT各参数的组间差异分析结果

参数	正常组( $n=37$ )	受损组( $n=63$ )	$Z/t$ 值	$P$ 值
$V/mL$	161.200 (142.100, 174.700)	125.900 (97.000, 146.200)	-4.459	<0.001
HU( $t1$ )	123.415 $\pm$ 18.272	109.867 $\pm$ 33.551	2.815	0.010
HU( $t2$ )	147.000 (126.000, 160.800)	130.000 (102.200, 152.500)	-3.313	0.001
IC( $t1$ )/ ( $mg/mL$ )	3.577 $\pm$ 0.661	3.051 $\pm$ 1.209	2.611	0.006
IC( $t2$ )/ ( $mg/mL$ )	4.560 (3.710, 5.050)	3.950 (2.920, 4.660)	-3.609	<0.001
$K$ ( $t1$ )/ $mg$	520.960 (427.350, 680.340)	364.380 (231.090, 487.920)	-4.394	<0.001
$K$ ( $t2$ )/ $mg$	717.610 (581.790, 787.720)	482.730 (324.630, 605.540)	-5.637	<0.001
分肾CT清 除率/ $mg$	497.650 (419.460, 578.260)	355.980 (246.080, 432.180)	-5.815	<0.001

### 2.3 光谱CT各参数与Gates GFR相关性分析

光谱CT各参数 $V$ 、 $HU(t1)$ 、 $HU(t2)$ 、 $IC(t1)$ 、 $IC(t2)$ 、 $K(t1)$ 、 $K(t2)$ 、分肾CT清除率与Gates GFR均具有正相关,  $r$ 值分别

为0.489、0.339、0.481、0.361、0.531、0.590、0.724、0.740, 差异均有统计学意义( $P < 0.001$ , 图2)。

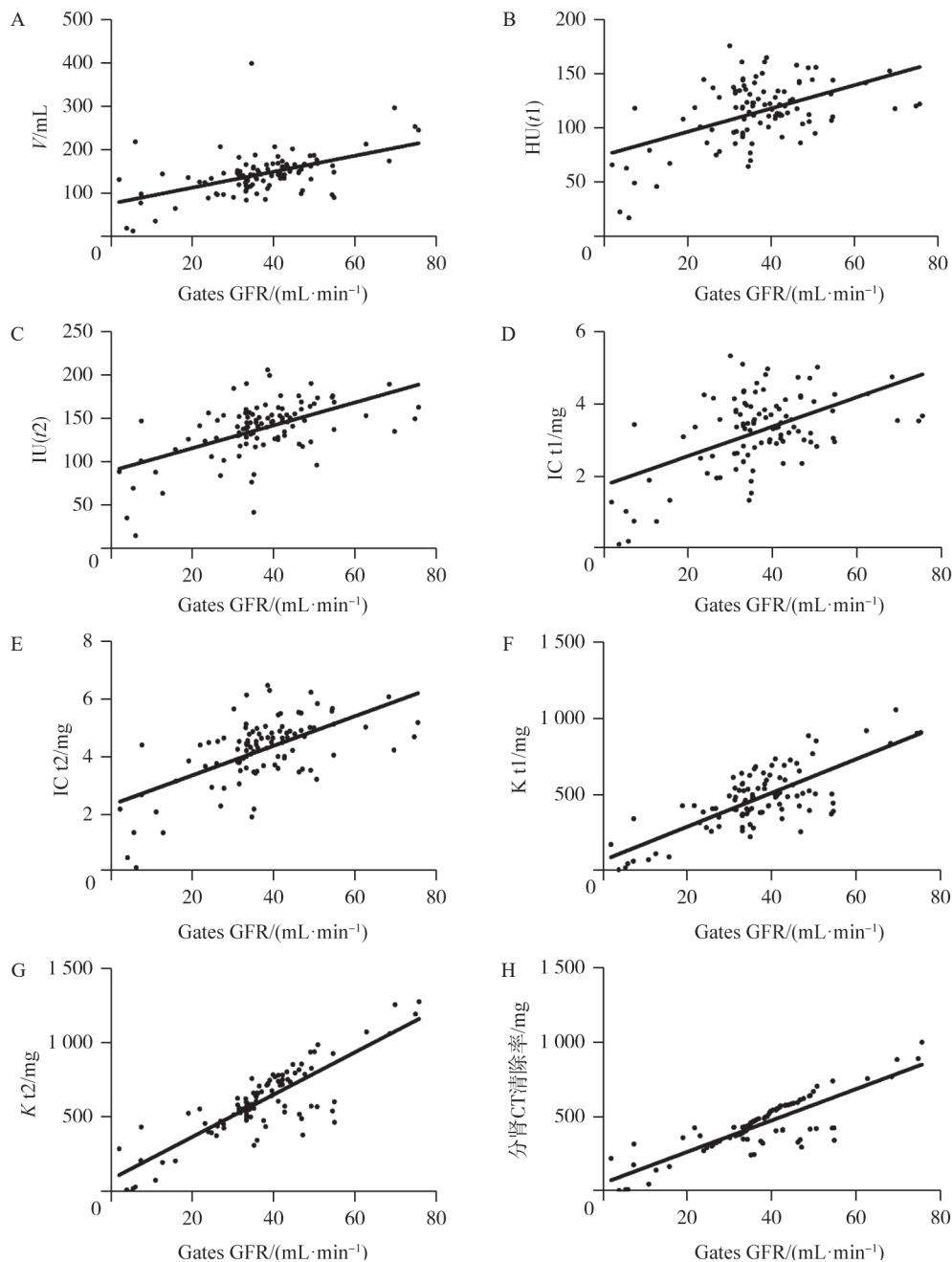


图2 光谱CT各参数与Gates GFR相关性分析

A:  $V$ 与Gates GFR相关性散点图 ( $r=0.489$ ,  $P < 0.001$ ) ; B:  $HU(t1)$ 与Gates GFR相关性散点图 ( $r=0.339$ ,  $P < 0.001$ ) ; C:  $HU(t2)$ 与Gates GFR相关性散点图 ( $r=0.481$ ,  $P < 0.001$ ) ; D:  $IC(t1)$ 与Gates GFR相关性散点图 ( $r=0.361$ ,  $P < 0.001$ ) ; E:  $IC(t2)$ 与Gates GFR相关性散点图 ( $r=0.531$ ,  $P < 0.001$ ) ; F:  $K(t1)$ 与Gates GFR相关性散点图 ( $r=0.590$ ,  $P < 0.001$ ) ; G:  $K(t2)$ 与Gates GFR相关性散点图 ( $r=0.724$ ,  $P < 0.001$ ) ; H: 分肾CT清除率与Gates GFR相关性散点图 ( $r=0.740$ ,  $P < 0.001$ ) 。

## 2.4 光谱CT碘定量分肾CT清除率ROC曲线分析

区分分肾功能正常与受损的碘定量分肾CT清除率的曲线下面积为0.849（95% CI 0.763~0.936,  $P < 0.001$ , 图3）；灵敏度及特异度为0.703、1.000；界值为543 mg。分肾CT清除率在543 mg及以上范围表示分肾功能正常。

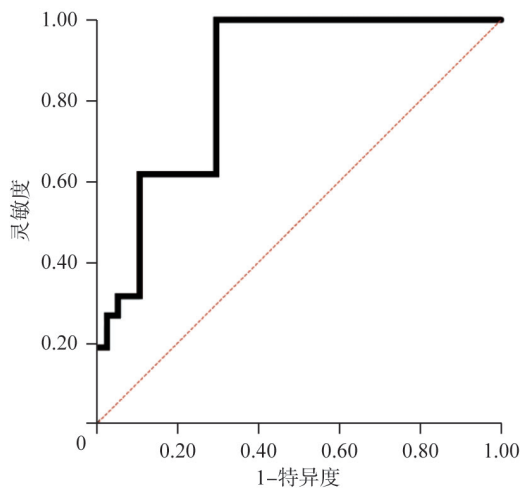


图3 区分分肾功能正常与受损的碘定量分肾CT清除率的ROC曲线

## 3 讨 论

肾脏具有排泄废物、维持内环境稳定等重要功能。当肾脏疾病或其他组织疾病导致肾功能受损时，由于肾脏具有代偿作用，在疾病早期往往表现为总肾功能指标，如血肌酐、尿素氮等指标正常，但是总肾功能指标正常并不能代表分肾功能正常。尤其是对于肾肿瘤患者在进行患侧肾切除术前，确认健侧肾功能是否正常十分必要。放射性核素肾动态显像可以很好地获得双肾血流灌注以及GFR来评估分肾功能，已经得到临床上的一致认可<sup>[12]</sup>，但是在疾病诊断以及显示清晰解剖结构等方面不能提供足够信息。CT目前是临床上常用的检查方法，尤其是对于肾肿瘤患者外科手术前检查必不可少。CT无创方便、扫描时间短，并且能非常清晰地显示整个脏器解剖结构，以及周围组织、大小血管等微结构，已广泛应用于肾脏以及各个组织器官的疾病诊

断<sup>[13-16]</sup>。现阶段，采用新的能谱成像模式的光谱CT弥补了传统CT单一参数的缺陷，可提供更有价值的影像学信息<sup>[17-18]</sup>。光谱CT碘浓度图像可通过肾脏内碘的分布范围及其浓度信息直观准确地显示碘对比剂通过肾脏的滤过信息，从而反映分肾功能。

本研究共50例患者，15例双肾功能均受损，包含瘤体直径4 cm以下的肾透明细胞癌患者13例，瘤体直径4~7 cm的肾透明细胞癌患者2例；33例肿瘤侧肾功能受损，非肿瘤侧肾功能正常；2例双肾均功能正常，均为瘤体直径4 cm以下的肾透明细胞癌患者。在临床上肾肿瘤患者往往受肿瘤病灶影响，非肿瘤侧肾脏经常伴有进行性肾功能衰竭，早期及时准确地评估分肾功能，对指导外科手术尤为重要。对于局限性肾肿瘤，手术是必要的治疗方法，而手术方式的选择与分肾功能十分相关。尤其是当患者出现肿瘤侧肾与非肿瘤侧肾分肾功能均受损时，则需首选肾部分切除术而非肾根治性切除术。

本研究光谱CT所得各参数与GFR均呈正相关，静脉期CT值、IC、碘对比剂累积量与GFR的相关程度均高于动脉期。这是因为动脉期碘对比剂刚进入肾皮质，部分对比剂尚未通过肾小球滤过，在肾皮质的沉积有限，可能会对肾功能造成低估；而静脉期绝大部分碘对比剂通过肾小球滤过，在肾髓质急剧聚集，在肾脏的浓聚程度达到最大，而又不被肾小管与集合管重吸收和分泌，所以静脉期肾脏碘对比剂的浓度及累积量能很好地反映肾小球的滤过功能。不论是动脉期还是静脉期，IC与GFR的相关性均高于CT值。普通CT增强扫描通过不同时间内各个组织视野内的CT值判断组织内碘对比剂的摄取程度，不能去除组织本身对CT值的影响，因而对碘对比剂浓度的区分不准确。而光谱CT具有的物质分离技术：即不同能量下，不同物质对X线的吸收衰减不同，是区别于普通CT的一项根本特征，用此技术得到碘浓度图，将碘含量描绘成可视化的图

像,进行碘含量测定及定量分析,较普通的CT值更加精确<sup>[19-20]</sup>。Hokamp等<sup>[21]</sup>的研究显示,光谱CT碘浓度图较普通CT能够提高肺灌注缺损的显著性。彭楚明等<sup>[22]</sup>通过能谱CT碘水物质分离技术在泌尿系结石引起的肾皮质期灌注异常中的应用,证明碘浓度图可以直观地表达碘对比剂空间以及时间分布信息,测量的IC可以直接显示肾脏组织对于碘的摄取排泄能力,间接反映肾皮质、肾髓质及其各组织器官的血供、血流灌注信息、以及病变组织血流量的改变。

本研究将肾脏体积与IC联合起来得到某一时刻肾脏内碘对比剂的累积量,能够反映整个肾脏内碘对比剂的变化,其与GFR的相关性较 $V$ 或 $HU(t_1)$ 、 $HU(t_2)$ 及 $IC(t_1)$ 、 $IC(t_2)$ 进一步提高,说明 $K(t_1)$ 及 $K(t_2)$ 对肾功能的评估更准确。本研究最大的亮点在于利用IQon光谱CT在得到常规诊断信息的同时,还通过碘浓度图得到了一系列光谱CT参数,利用光谱CT动静脉两期IC联合肾实质体积计算得出分肾CT清除率,能够反映碘对比剂在肾小球的滤过过程,最接近生理情况,与GFR的相关性最高,评价更为准确;其次,与之前关于简化的Patlak方程对肾功能研究相比,此方法无需使用增强CT值与平扫CT值之差,便可直接得出某一时刻肾脏的IC,计算更加简便、快捷;有望成为评价分肾功能新的指标。本研究显示,分肾功能正常的CT清除率范围为543 mg及以上,低于543 mg表示分肾功能受损。对于肾肿瘤患者来说,进行光谱CT增强既可以在治疗前获得肾脏以及血管等精细解剖结构信息,又可以在此基础上获得分肾肾功能指标,是真正意义上的一站式检查,大大节约了时间以及金钱等成本。遗憾的是,如果有碘过敏、肾功能严重衰竭等禁忌证的患者并不能进行CT增强检查。

此外,本研究还有以下不足:①样本量较小,未能将分肾功能受损程度进行分级,并且所得CT清除率诊断界值需要大样本量的前瞻性研究进一步验证;②光谱CT相关参数测量采用人工手动勾画,存在误差,今后需要尝试计算机软件自动勾画分析,以减少误差。

综上所述,光谱CT各参数均可反映分肾功能,其中光谱CT碘定量分肾CT清除率与核素肾动态显像所得分肾功能指标GFR相关性最强,能够区分分肾功能是否正常,有望成为一种评估分肾功能的新方法。

#### [参 考 文 献]

- [1] 夏建峰,黄泽和,陈松.增强CT评估肾积水患者肾功能受损[J].放射学实践,2021,36(10):1259-1264.
- [2] 曹琳,夏庆来,吴虹仪,等.螺旋CT评价肾功能的研究进展[J].国际医学放射学杂志,2019,42(3):331-333.
- [3] 庞小溪,钟浩,陈雪红,等.SPECT肾功能显像与CT扫描对单侧肾积水术前肾功能的评估[J].中国医学影像学杂志,2015,23(2):120-124.
- [4] 陈乃刚,王彦润,俱京涛,等.CT增强扫描对肾功能损伤诊断价值的研究[J].临床放射学杂志,2021,40(7):1422-1425.
- [5] 贾萍,王晓明.双层探测器光谱CT在头颈部血管相关疾病中的研究进展[J].中国医学影像学杂志,2021,29(10):1052-1055.
- [6] SONG Z H, LI Q, ZHANG D, et al. Nomogram based on spectral CT quantitative parameters and typical radiological features for distinguishing benign from malignant thyroid micro-nodules [J]. Cancer Imaging, 2023, 23(1): 13.
- [7] XU H, ZHU N, YUE Y, et al. Spectral CT-based radiomics signature for distinguishing malignant pulmonary nodules from benign [J]. BMC Cancer, 2023, 23(1): 91.
- [8] 中华放射学杂志双层探测器光谱CT临床应用协作组. 双层探测器光谱CT临床应用中国专家共识(第一版)[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(7): 635-643.
- [9] 任海燕,甄艳华,畅智慧,等.双层探测器光谱CT 70 keV单能量成像提升腹部增强扫描图像质量的应用研究[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(7): 660-664.
- [10] 中华医学会器官移植学分会,中国医师协会器官移植医师分会. 中国活体供肾移植临床指南(2016版)[J]. 器官移植, 2016, 7(6): 417-426.
- [11] HACKSTEIN N, BUCH T, RAU W S, et al. Split renal function measured by triphasic helical CT [J]. Eur J Radiol, 2007, 61(2): 303-309.
- [12] 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, 53(4): 299-304.
- [13] 张国锋. 肾脏CT扫描定量分析评价肾肿瘤患者分肾功能的研究[J]. 中国初级卫生保健, 2016, 30(7): 94-95.
- [14] 袁磊,魏来. CT诊断肾脏占位性病变及鉴别病变性质的研究[J]. 影像科学与光化学, 2021, 39(3): 434-437.
- [15] 樊延龙. 普通螺旋CT、能谱CT诊断原发性肝癌的价值[J]. 临床医学, 2022, 42(3): 90-92.
- [16] 向玲玲,吴晶涛,邵言坤,等.增强CT影像组学鉴别小肾癌与乏脂肪肾血管平滑肌脂肪瘤的价值[J]. 肿瘤影像学, 2021, 30(3): 185-190.
- [17] RAJIAH P, ABBARA S, HALLIBURTON S S. Spectral detector

- CT for cardiovascular applications [J]. *Diagn Interv Radiol*, 2017, 23(3): 187-193.
- [18] 严福华, 金征宇. 能量CT多参数分析的临床应用和发展前景 [J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(12): 1233-1234.
- [19] JACOBSEN M C, SCHELLINGERHOUT D, WOOD C A, et al. Intermanufacturer comparison of dual-energy CT iodine quantification and monochromatic attenuation: a phantom study [J]. *Radiology*, 2018, 287(1): 224-234.
- [20] 何家伟, 程庆红, 祝丁丁, 等. IQon能谱CT多参数定量评估肺癌淋巴结转移的诊断效能 [J]. *肿瘤影像学*, 2022, 31(4): 367-371.
- [21] HOKAMP N G, GUPTA A. Evaluation of lung transplant perfusion using iodine maps from novel spectral detector computed tomography [J]. *Indian J Radiol Imaging*, 2018, 28(4): 436-438.
- [22] 彭楚明, 王露萍. 能谱CT碘水物质分离技术评估泌尿系结石引起的肾皮质期灌注异常的可行性 [J]. *江苏医药*, 2021, 47(2): 192-195.
- (收稿日期: 2024-03-07 修回日期: 2024-05-18)

## 《抗癌》2024年征订启事

《抗癌》杂志于1988年创刊, 主管单位为上海市科学技术协会, 主办单位为上海市抗癌协会。《抗癌》杂志坚持以读者为导向, 架起读者与医院之间的桥梁, 介绍抗癌防癌的科学知识, 倡导健康的生活方式, 宣传癌症患者战胜病魔的动人事迹, 努力为广大癌症患者和家属服务。杂志刊号: CN 31-1664/R, ISSN 1008-3065。欢迎广大读者订阅。

杂志为季刊, 每期48页。本刊季末出版, 每期8元, 全年共32元整。订购请通过邮政局汇款。

通信地址: 上海市东安路270号10号楼415室《抗癌》杂志社收  
邮 编: 200032  
电 话: (021)64042258  
电子信箱: anti-cancer@163.com

《抗癌》杂志社