

## CT增强扫描评估单肾肿瘤患者肾小球滤过率的临床研究

王婷婷<sup>1</sup>, 杨冠羽<sup>2</sup>, 邵鹏飞<sup>3</sup>, 吕强<sup>3</sup>, 唐立钧<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>南京医科大学第一附属医院核医学科, 江苏 南京 210029; <sup>2</sup>东南大学计算机科学与工程学院影像科学与技术实验室, 江苏 南京 210011; <sup>3</sup>南京医科大学第一附属医院泌尿外科, 江苏 南京 210029

**[摘要]** **目的:**探究CT多期增强扫描结合自主研发定量肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR)软件评估肾肿瘤患者术前肾小球滤过率(GFR measurement based on computed tomography, CT-GFR)的可行性。**方法:**纳入2017年2—7月诊断单肾肿瘤且无急性肾功能不全52例。所有患者术前均行肾脏CT扫描和血清肌酐值(serum creatinine, Scr)测定,其中15例进行了放射性核素检查。用自主研发的定量GFR软件分别测量包含和除外肾肿瘤的总肾CT-GFR,将之与估算的肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)进行相关性分析,将分肾相对CT-GFR与放射性核素显像法测定的相对GFR(GFR measurement based on radionuclide examination, R-GFR)进行相关性分析。每例均计算2期CT-GFR,包括肾实质早期和肾实质晚期。**结果:**包含肾肿瘤的肾实质早期总肾CT-GFR与eGFR高度相关( $r=0.81, y=0.94+0.92x$ ),包含肾肿瘤的肾实质早期患肾相对CT-GFR与患肾相对R-GFR高度相关( $r=0.850, y=18.24+0.62x$ )。**结论:**CT增强扫描为肾肿瘤患者肾小球滤过率的精确评估提供了一种可行方法。

**[关键词]** 计算机断层成像;肾小球滤过率;单肾功能;肾肿瘤

**[中图分类号]** R692

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2018)06-786-06

**doi:** 10.7655/NYDXBNS20180613

## Measurement of glomerular filtration rate using multiphasic computed tomography in patients with unilateral renal tumors: a feasibility study

Wang Tingting<sup>1</sup>, Yang Guanyu<sup>2</sup>, Shao Pengfei<sup>3</sup>, Lv Qiang<sup>3</sup>, Tang Lijun<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine, the First Affiliated Hospital of NMU, Nanjing 210029; <sup>2</sup>Laboratory of Image Science and Technology, Southeast University, Nanjing 210011; <sup>3</sup>Department of Urology, the First Affiliated Hospital of NMU, Nanjing 210029, China

**[Abstract]** **Objective:** To investigate the feasibility of multiphasic computed tomography scanning combined with a homemade software quantitative measurement of glomerular filtration rate (glomerular filtration rate measurement based on computed tomography, CT-GFR). **Methods:** Fifty-two patients with unilateral renal tumors from February 2017 to July 2017 were included. All of them did not suffer from acute renal insufficiency. All patients underwent renal CT scans and serum creatinine (serum creatinine, Scr) tests preoperatively, of which 15 cases underwent additional radionuclide examination. Total CT-GFR and relative CT-GFR, with or without renal tumors, were calculated by a homemade GFR quantitative software. The correlation between total CT-GFR and estimated glomerular filtration rate (eGFR) was analyzed by Pearson's method. The correlation between relative CT-GFR and relative GFR measurement based on radionuclide examination (R-GFR) of split kidneys was also analyzed by Pearson's method. Total CT-GFR and relative CT-GFR were calculated in early and late renal parenchymal phases respectively with or without renal tumors. **Results:** Total CT-GFR in early renal parenchymal phase was highly correlated with eGFR ( $r=0.81, P < 0.01$ ). Relative CT-GFR in early renal parenchymal phase was highly correlated with relative R-GFR in the split kidneys ( $r=0.85, P < 0.01$ ). **Conclusion:** Split and total GFR can be measured accurately using multiphasic CT combined with homemade software in patients with unilateral renal tumors.

**[Key words]** computed tomography; glomerular filtration rate; split renal function; renal tumors

[Acta Univ Med Nanjing, 2018, 38(06): 786-791]

**[基金项目]** 国家自然科学基金面上项目(31571001)

\*通信作者(Corresponding author), E-mail: tanglijun@njmu.edu.cn

肾脏是过滤代谢废物和保持体液平衡的重要器官。随着肾肿瘤检出率的提高和肾肿瘤切除术后生存质量需求的增加,精确评估术前肾功能在临床肾肿瘤患者诊疗中具有重要意义。临床上对于肾肿瘤术前影像学诊断的要求不再仅局限于肾脏解剖层面,更希望一种检查技术能同时涵盖功能学和形态学信息。CT检查一直是评估肾脏形态学的重要手段,可提供肾脏精确的解剖学信息。既往研究发现CT增强扫描定量肾小球滤过率(glomerular filtration rate measurement based on computed tomography, CT-GFR)与临床菊粉或放射性核素显像法测定的GFR(GFR measurement based on radionuclide examination, R-GFR)具有一定的相关性。但以往研究对象多为肾功能正常(如肾移植提供者)、单侧尿路梗阻或慢性肾病患者,肾肿瘤术前患者研究较少<sup>[1]</sup>。鉴于此,本研究优化了CT肾脏扫描方案,并自主研发一款定量GFR软件,完成了对肾脏实质、集合系统及腹主动脉的自动分割及软件虚拟肾肿瘤自动剔除与恢复,实现了总肾及分肾包含或除外肾肿瘤CT-GFR的计算。以CKD-EPI<sup>[2]</sup>公式估算的肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)及放射性核素显像法测定的分肾相对R-GFR为参照,旨在探究CT增强扫描作为精确评估肾肿瘤患者GFR的可行性。

## 1 对象和方法

### 1.1 对象

前瞻性研究本院2017年2—7月临床诊断为单肾肿瘤患者52例(男33例,女19例),术前行肾脏CT检查和血清肌酐值(serum creatinine, Scr)测定。年龄27~84岁,平均58岁,所有受试者行CT肾脏检查前抽取静脉血3 mL分离血清并测定Scr和红细胞压积值(hematocrit, Hct), Scr范围0.45~1.37 mg/dL,平均0.76 mg/dL, Hct范围0.28~0.50,平均0.40。其中15例行放射性核素显像法检查,各项检查时间间隔小于3 d且期间未进行相关治疗。所有患者检查前均签署知情同意书,且本研究经南京医科大学伦理委员会批准通过。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 GFR测量

Scr浓度测定采用同位素稀释追踪质谱氧化酶法(上海科华东菱诊断用品有限公司),所测Scr值代入CKD-EPI<sup>[2]</sup>公式估算出eGFR。 $eGFR = a \times (Scr/b)^c \times (0.993)^{age^{[2]}}$ ,根据性别与人种,男性: $a=141, b=0.9, c=$

$-0.411 (Scr \leq 0.9 \text{ mg/dL})$ 或 $c=-1.209 (Scr > 0.9 \text{ mg/dL})$ ;女性: $a=144, b=0.7, c=-0.329 (Scr \leq 0.7 \text{ mg/dL})$ 或 $c=-1.209 (Scr > 0.7 \text{ mg/dL})$ 。

52例中15例受试者采用<sup>99m</sup>Tc-二乙三胺五乙酸(<sup>99m</sup>Tc-diethylenetetramine pentaacetic acid, <sup>99m</sup>Tc-DTPA)标记的放射性核素显像法测定R-GFR。图像采集后,手动勾画双肾轮廓和本底区,用计算机(Siemens E.CAM, Siemens公司,德国)基于Gates法<sup>[3]</sup>自动算出患侧、健侧、总肾R-GFR后再计算反映分肾相对肾功能的相对R-GFR,即为分肾R-GFR除以总肾R-GFR。

肾脏CT扫描采用双源CT(Somatom Definition, Siemens Medical Solutions, Erlangen公司,德国)。肾脏检查前0.5 h嘱患者饮水约500 mL。全肾扫描参数:管电压120 kV;管电流200~250 mAs;准直64.0×0.6 mm;螺距1.2;重建层厚为0.75 mm;层间距为0.5 mm;重建算法为B30f。扫描方案:①平扫:仰卧位,头先进,范围为肝脏膈顶部至肾下极2 cm;②动脉期扫描:于右侧肘前静脉置入20 G的静脉留置针,经高压注射器以5 mL/s的流速注入非离子对比剂(碘普罗胺,370 mg I/mL,德国先灵拜耳药业)100 mL,随后以相同的注射速率追加20 mL生理盐水冲洗。扫描触发采用团注追踪法(Bolus tracking),注入对比剂10 s后开始监测,监测平面选在肾门水平,触发阈值为250 Hu。腹主动脉内密度达250 Hu后延迟6 s开始全肾动脉期扫描;③同层动态扫描:动脉期扫描后延迟20 s进行肾门水平的同层动态扫描,管电压120 kV,管电流40 mAs,间隔2 s,共扫15次,层厚10 mm;④实质早期扫描:同层动态扫描后延迟20 s开始进行全肾实质早期扫描。扫描参数同动脉期扫描;⑤实质晚期扫描:实质早期扫描后延迟40 s开始进行全肾实质晚期扫描。扫描参数同实质早期扫描。

#### 1.2.2 CT测量GFR

CT-GFR测定是基于Patlak方程,1983年Patlak等<sup>[4]</sup>首次用于测定通过血脑屏障物质的传输率,适用于二室空间模型,认为肾脏血管部分和肾小管部分内对比剂的量分别与主动脉内对比剂和肾实质内对比剂浓度呈一定比例。

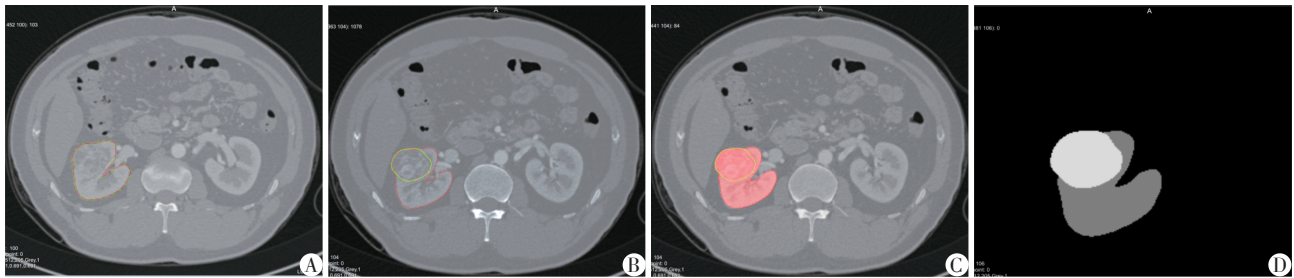
将肾脏CT图像载入自主研发的CT-GFR测量软件中。具体测量过程如下:①两肾实质自动分割;②软件半自动完成轴位肾实质轮廓和肾肿瘤轮廓的描记,描记不理想时可手动编辑(图1);③主动脉时间密度曲线(time density curve, TDC)生成,在

肾门水平的主动脉内选取与管腔相匹配面积的ROI;软件自动生成主动脉TDC(图2);④在软件中输入身高、体重和Hct,软件自动计算出健侧肾、患侧肾(包含和除外肿瘤)的分肾CT-GFR,然后由体表面积(body surface area,BSA)进行标化,分别得出

标化后的分肾CT-GFR。

### 1.3 统计学方法

采用SPSS 23.0和MedCalc15.8统计学软件(MedCalc Software, Mariakerke, 比利时)处理数据。各定量指标经Kolmogorov Smirnov单样本检验均符



A:软件自动描记患侧肾实质轮廓;B:手动修正肾实质轮廓并描绘出肾脏肿瘤的轮廓;C、D:患侧肾实质轮廓及肾肿瘤轮廓的生成。

图1 男,35岁,右肾透明细胞癌

Figure 1 35-year-old man with right renal clear cell carcinoma

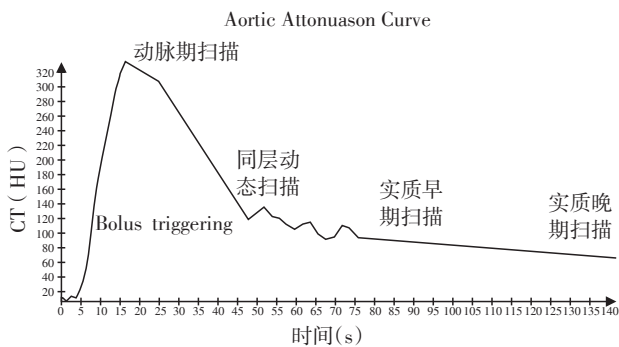


图2 软件自动生成的主动脉TDC

Figure 2 Software automatically generates aortic attenuation curve

合正态分布,指标间相关性采用Pearson相关系数分析。不同测量方法间一致性及观察者间差异性分析采用Bland-Altman图。肾实质早期患肾包含和除

外肾肿瘤后CT-GFR的差异性分析采用配对t检验。 $P \leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 3种方法计算GFR数值比较

52例单肾肿瘤患者肾实质早期或晚期包含肾肿瘤和除外肾肿瘤CT-GFR、eGFR、R-GFR数值见表1,基于肾实质早期扫描计算的CT-GFR数值高于晚期。

### 2.2 CT-GFR与eGFR相关性及其一致性比较

不论是肾实质早期或晚期包含肾肿瘤总肾CT-GFR与eGFR相关性均高于除外肾肿瘤CT-GFR与eGFR相关性;肾实质早期CT-GFR与eGFR相关性高于肾实质晚期(表2)。肾实质早期包含肾肿瘤总肾CT-GFR与eGFR高度相关( $r=0.81, y=0.94+0.92x$ )

表1 3种方法计算GFR结果比较

Table 1 Results of statistical of GFR by three methods

( $\bar{x} \pm s, n=52$ )

GFR测量方法	扫描时期	患肾		健肾		总肾
		绝对值 [mL/(min·1.73 m <sup>2</sup> )]	相对值(%) (患肾/总肾)	绝对值 [mL/(min·1.73 m <sup>2</sup> )]	相对值(%) (健肾/总肾)	绝对值 [mL/(min·1.73 m <sup>2</sup> )]
CT-GFR(w)	实质早期	46.02 ± 8.59	51.02 ± 2.73	44.26 ± 8.38	48.98 ± 2.73	90.28 ± 16.20
	实质晚期	37.69 ± 7.93	51.36 ± 2.87	35.79 ± 7.78	48.64 ± 2.87	73.47 ± 15.07
CT-GFR(wo)	实质早期	42.01 ± 8.49	48.67 ± 2.65	44.26 ± 8.38	51.33 ± 2.65	86.27 ± 16.17
	实质晚期	34.23 ± 7.74	48.80 ± 2.68	35.91 ± 7.86	51.20 ± 2.68	70.15 ± 15.08
R-GFR		51.75 ± 11.26	48.72 ± 3.86	54.75 ± 13.53	51.28 ± 3.86	106.47 ± 23.67
eGFR						96.65 ± 14.23

CT-GFR(w):基于CT计算的肾小球滤过率(包含肾肿瘤);CT-GFR(wo):基于CT计算的肾小球滤过率(软件除外肾肿瘤);R-GFR:基于放射性核素显像法计算的肾小球滤过率;eGFR:基于CKD-EPI计算的肾小球滤过率。

表2 CT-GFR与eGFR比较

Table 2 Results of statistical comparison between CT-GFR and eGFR (n=52)

GFR测量方法	CT-GFR	eGFR	
		r值	P值
CT-GFR(w)	实质早期	0.81	<0.001
	实质晚期	0.74	<0.001
CT-GFR(wo)	实质早期	0.80	<0.001
	实质晚期	0.74	0.00

且一致性良好(图3)。

### 2.3 CT-GFR与R-GFR相关性及其一致性比较

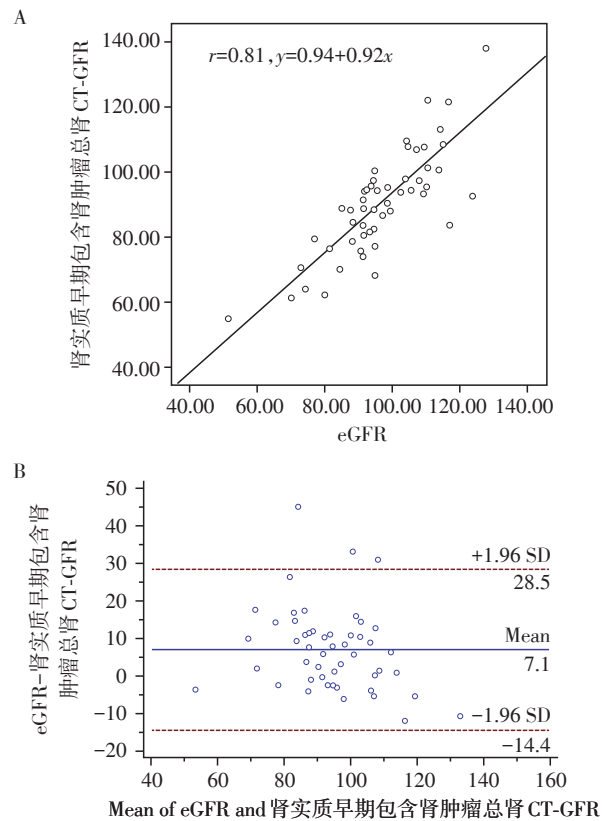
肾实质早期分肾相对CT-GFR与相对R-GFR相关性优于晚期;包含肾肿瘤分肾相对CT-GFR与相对R-GFR相关性高于除外肾肿瘤分肾相对CT-GFR与相对R-GFR相关性(表3)。肾实质早期患肾包含肾肿瘤相对CT-GFR与相对R-GFR高度相关( $r=0.850, y=18.24+0.62x$ )且一致性良好(图4)。

表3 分肾相对CT-GFR与相对R-GFR比较

Table 3 Results of statistical comparison between relative CT-GFR and relative R-GFR of split kidney (n=15)

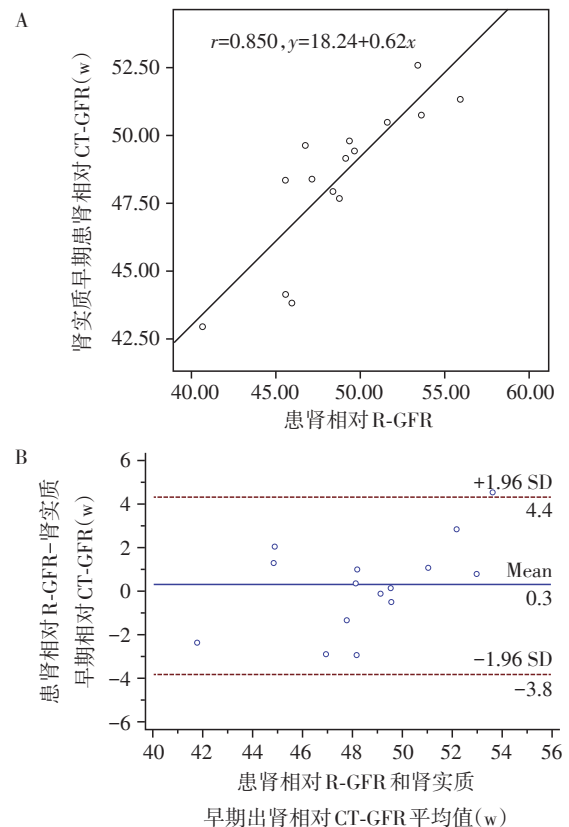
扫描时期	患肾相对CT-GFR	患肾相对R-GFR		健肾相对CT-GFR	健肾相对R-GFR	
		r值	P值		r值	P值
早期	CT-GFR(wo)	0.63	0.01	CT-GFR(wo)	0.63	0.01
实质	CT-GFR(w)	0.75	<0.001	CT-GFR(w)	0.75	<0.001
晚期	CT-GFR(wo)	0.59	0.02	CT-GFR(wo)	0.59	0.02

相对CT-GFR(w):基于CT计算分肾相对肾小球滤过率(包含肾肿瘤);相对CT-GFR(wo):基于CT计算分肾相对肾小球滤过率(软件除外肾肿瘤);相对R-GFR:基于放射性核素显像法计算分肾相对肾小球滤过率。



A:肾实质早期总肾CT-GFR(w)与eGFR呈高度相关;B:肾实质早期总肾CT-GFR(w)与eGFR一致性良好,实线代表CT-GFR(w)与eGFR差值均数为7.1 mL/(min·1.73 m<sup>2</sup>),两条虚线代表一致性上下限值的95% CI为-14.4~28.5 mL/(min·1.73 m<sup>2</sup>)。

图3 肾实质早期总肾CT-GFR(w)与eGFR相关性及其一致性  
Figure 3 Correlation and concordance between the total CT-GFR with tumor in early renal parenchymal phase and eGFR



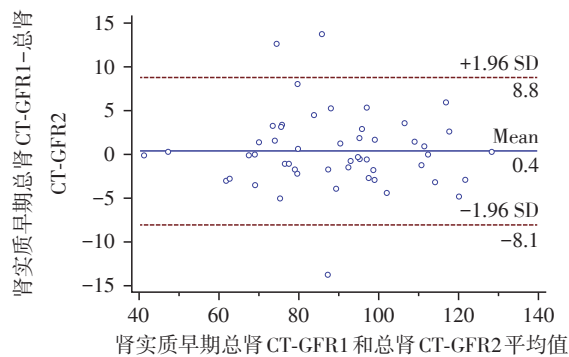
A:肾实质早期患肾相对CT-GFR(w)与相对R-GFR呈高度相关;B:肾实质早期患肾相对CT-GFR(w)与相对R-GFR一致性良好,实线代表患肾相对CT-GFR(w)与相对R-GFR差值均数为0.3 mL/(min·1.73 m<sup>2</sup>),两条虚线代表一致性上下限值的95% CI为-3.8~4.4 mL/(min·1.73 m<sup>2</sup>)。

图4 肾实质早期患肾相对CT-GFR(w)与相对R-GFR相关性及其一致性  
Figure 4 Correlation and concordance between the relative CT-GFR with tumor of split kidney of tumor-bearing in early renal parenchymal phase and relative R-GFR



### 2.4 其他

2名影像专业医生分别独立测量肾实质早期除外肾肿瘤后CT-GFR一致性良好(图5)。肾实质早期患肾包含肾肿瘤CT-GFR与除外肾肿瘤后CT-GFR配对t检验, $P < 0.05$ 。本研究设计的CT肾脏全期扫描总剂量长度乘积(dose length product, DLP)<sup>[5]</sup>为(1 206.86+79.71)mGy·cm,同层动态扫描期DLP固定为34 mGy·cm,同层动态扫描期全身有效剂量仅为0.51 mSv。



2位影像专业医生分别独立测量CT-GFR一致性良好,实线代表独立所测CT-GFR差值均数为0.4 mL( $\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$ ),2条虚线代表一致性上下限值的95% CI为-8.1~8.8 mL( $\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$ )

图5 2位影像专业医生独立测量CT-GFR一致性比较  
Figure 5 Comparison the concordance of CT-GFR measurement by two experienced radiologists

### 3 讨论

目前手术切除仍是治疗局限性肾肿瘤的唯一有效措施,包括根治性肾切除和保留肾单位手术,术前精确、全面评估肾功能,对外科手术方式的选择具有重要意义。临床上常用于计算GFR的方法主要有放射性核素显像法和基于公式估算的实验室法,但都有各自的局限性。eGFR只评估总肾功能,无法获得分肾功能信息。放射性核素显像法不仅有放射性损伤,还无法精确提供肾形态学信息。且以上两种方法均无法评估肾肿瘤本身存在与否对肾功能的影响。近年来越来越多的研究验证了基于CT计算GFR的可行性<sup>[6]</sup>。CT增强作为肾肿瘤患者术前常规甚至首选检查,不仅可以无创、快速地提供肾脏本身及肾周解剖信息,也能定量计算分肾及总肾功能,且未增加额外检查负担。本研究基于Patlak两点法优化了CT肾脏扫描方案结合自主研发CT-GFR定量分析软件,在获得肾脏解剖学信息基础上实现了肾肿瘤患者总肾及分肾CT-GFR的自动测定。为探究肾肿瘤病灶存在与否对肾小球

滤过率的影响,软件还实现了术前虚拟肿瘤的剔除和恢复后定量计算CT-GFR。该软件是在前期研究肾肿瘤患者肾体积与肾功能相关性的基础上优化升级的,软件的稳定性前期研究已验证<sup>[7]</sup>,本研究采用Bland-Altman图分析两位影像专业医生分别独立测量CT-GFR一致性良好,再次验证观察者对测量结果影响不大,软件稳定性好。

既往研究CT计算GFR多采用单层动态扫描,因只扫描一个层面,对于肾局部病变如肾肿瘤患者等计算CT-GFR准确性欠佳<sup>[6]</sup>。本研究基于Patlak两点法,采用全肾扫描,避免了只扫描单一层面错估GFR的情况。CT-GFR计算的准确性主要取决于主动脉TDC的绘制。主动脉TDC为非线性曲线,呈早期陡升后陡降再缓降的变化趋势,扫描过程中采集数据样本越多,主动脉TDC越逼真,定量CT-GFR越精确。既往研究中,双肾通常只进行平扫、动脉期及实质期扫描,所得数据结合插值法大致绘制主动脉TDC<sup>[2,6]</sup>。本研究为使主动脉TDC尽可能准确,在动脉期和实质早期间加扫一组同层动态扫描,找到TDC由陡降至缓降之间的转折点,绘制出更加真实的TDC。为减少同层动态扫描期的辐射剂量,将此期扫描管电流统一一定为40 mAs。相比总的全期扫描,同层动态扫描DLP仅增加3%。不仅如此,为探究实质期不同时间段扫描对CT-GFR精确性的影响,本研究实质期分为实质早期和晚期扫描。

本研究发现,eGFR与包含或除外肾肿瘤后肾实质早期总肾CT-GFR相关性均优于晚期,患肾相对R-GFR与实质早期相对CT-GFR相关性也优于晚期,故基于本研究认为肾实质早期CT-GFR精确性优于肾实质晚期CT-GFR,这与Hackstein等<sup>[8]</sup>的研究结果一致,他们以对比剂血浆清除率为参照分析其结果与CT-GFR间相关性,发现与肾实质早期CT-GFR相关性高于晚期,且肾实质早期CT-GFR绝对值略高于晚期,也与本研究一致。本文认为产生这种结果的原因可能如下:首先,Patlak两点法测量CT-GFR基于二室模型理论,在对52例图像分析时发现部分病例在肾实质晚期已有对比剂进入肾盂内,使得不符合二室模型的假设前提,故实质晚期CT-GFR精确性低于早期。其次,二室模型假设数据采集时对比剂完全处于肾血管和肾小管二室系统内,忽视肾间质的存在并假设对比剂在二室中迅速均匀混合,但实际上早期对比剂在肾血管内浓度较高,除向肾小管滤过外,部分对比剂会渗透到肾间质,这部分经非肾小球毛细血管滤过后积聚在肾间

质内的对比剂常会使CT-GFR值增高,尤其是患有使肾间质空间增大的肾脏疾病者,如急性肾盂肾炎、肾积水等<sup>[8]</sup>。故实质早期CT-GFR绝对值高于晚期。但肾间质空间对定量GFR的影响不仅发生在计算CT-GFR,Gates法计算R-GFR同样存在肾间质问题。对于因各种原因所致肾间质空间增大者,利用CT定量GFR还需进一步探索,比如三室模型的研究等<sup>[9]</sup>。

Hakimi等<sup>[10]</sup>研究认为肾肿瘤术前患肾GFR是术后患肾功能的独立预测因素之一,对于肾肿瘤术前GFR较低的患者应做好术前准备和术中保护肾功能措施,尽量降低肾功能损害,故准确评估肾肿瘤患者术前分肾功能对于治疗方式的选择具有重要意义。本研究采用配对 $t$ 检验分析包含肾肿瘤CT-GFR和除外肾肿瘤后CT-GFR数值存在统计学差异,且患肾包含肾肿瘤相对CT-GFR与相对R-GFR相关性优于患肾除外肾肿瘤后相对CT-GFR,无论肾实质早期或晚期。所以本研究认为应选择计算包含肾肿瘤的CT-GFR作为术前评估分肾功能的定量指标。

本研究有一定局限性,首先CT多期肾脏扫描数据的采集对呼吸控制要求较高,尽管本研究扫描前将腹带绑紧于患者中腹部区,并嘱咐患者每次呼吸力度尽量一致,但仍有因呼吸运动引起肾脏上下移动致肾脏两极漏扫而影响CT-GFR计算。其次,本研究对象均为肾肿瘤患者,对于存在急性肾功能不全或使肾间质空间明显增大的其他肾疾病者CT-GFR定量的精确性还需进一步研究。再者,本研究纳入分析的样本量虽已达到统计学要求但数量仍有限且未做长期病例随访,未来继续研究可适当扩大样本量,并进行病例跟踪随访,进一步分析肾肿瘤切除前后CT-GFR的定量变化,进而明确CT定量测定GFR的长期可行性与精确性。

综上所述,本研究中介绍的CT肾脏扫描方案结合自主研发定量CT-GFR软件为临床精确计算肾肿瘤患者GFR提供了一种可行的技术,可“一站式”、无创性评估分肾及总肾(包含或除外肾肿瘤)形态学和功能学的信息,具有其他检查无法替代的优

势,对临床外科手术方式的选择及疾病的预后评估有重要的指导意义。

#### [参考文献]

- [1] Yuan X,Zhang J,Tang K, et al. Determination of glomerular filtration rate with CT measurement of renal clearance of iodinated contrast material versus <sup>99m</sup>Tc-DTPA dynamic imaging “Gates” method: A validation study in asymmetrical renal disease[J]. Radiol,2016,282(2):552-560
- [2] Huynh-Do U,Fiedler M,Vogt B, et al. Assessment of kidney function: Creatinine is not the whole story [J]. Internist(Berl),2018,59(1):48-56
- [3] You S, Ma X, Zhang C, et al. Determination of single-kidney glomerular filtration rate (GFR) with CT urography versus renal dynamic imaging Gates method [J]. Eur Radiol,2018,28(3):1077-1084
- [4] Patlak CS, Blasberg RG. Graphical evaluation of blood-to-brain transfer constants from multiple-time uptake data. Generalizations [J]. J Cereb Blood Flow Metab, 1983, 5(4):584-590
- [5] Strauss KJ. Dose indices: everybody wants a number [J]. Pediatr Radiol,2014,44(3):450-459
- [6] Kwon SH. Determination of single-kidney glomerular filtration rate in human subjects by using CT [J]. Radiol, 2015,276(2):490-498
- [7] Liu W, Zhu Y, Tang L, et al. Effect of various environments and computed tomography scanning parameters on renal volume measurements in vitro: A phantom study [J]. Exp Ther Med,2016,12(2):753-758
- [8] Hackstein N, Cengiz H, Rau WS. Contrast media clearance in a single kidney measured on multiphasic helical CT: results in 50 patients without acute renal disorder [J]. AJR Am J Roentgenol,2002,178(1):111-118
- [9] Antunes IF, Willemsen ATM, Sijbesma JWA, et al. In vivo quantification of ERβ expression by pharmacokinetic modeling: Studies with 18F-FHNP PET [J]. J Nucl Med, 2017,58(11):1743-1748
- [10] Hakimi AA, Ghavamian R, Williams SK, et al. Factors that affect proportional glomerular filtration rate after minimally invasive partial nephrectomy [J]. J Endourol, 2013,27(11):1371-1375

[收稿日期] 2018-02-23