

Gates 法测量的分肾肾小球滤过率受对侧肾脏感兴趣区设置影响的原因与改进算法

汪长银¹, 赵燕芬², 沈美娟¹, 文兵¹, 沈影¹

1. 武汉大学中南医院核医学科, 湖北 武汉 430071; 2. 武汉大学数学与统计学院应用数学系, 湖北 武汉 430072

【摘要】目的:针对Gates法测量分肾肾小球滤过率(GFR)时存在的一侧肾脏GFR测量值受对侧肾脏感兴趣区勾画影响的情况,探讨改进办法。**方法:**回顾性对125例接受肾动态显像GFR测定的患者影像资料进行再处理与分析,提出改进的分肾GFR算法,比较改进算法与Gates算法之间的关系。**结果:**(1)改进算法的分肾GFR与Gates算法的分肾GFR呈高度正相关($r=0.999$, $P=0.000$),两种算法双肾总的GFR值不变。(2)Gates算法的分肾GFR与其显像剂摄取率高度正相关($r=0.999$, $P=0.000$),但并非一一对应关系;改进算法的分肾GFR与其显像剂摄取率完全正相关($r=1.000$, $P=0.000$),呈一一对应的关系;两种算法双肾总的GFR值与其显像剂摄取率完全正相关($r=1.000$, $P=0.000$)。(3)随着一侧肾脏感兴趣区的逐渐减小,Gates算法另一侧肾脏的GFR值亦逐渐降低,而改进算法的另一侧肾脏GFR值则不随之改变。**结论:**改进的分肾GFR算法保证了肾脏总GFR值不受影响,避免Gates算法中分肾GFR值相互影响的缺点,有利于保持分肾GFR测量结果的重复性、可靠性。

【关键词】肾脏;放射性核素显像;肾小球滤过率;感兴趣区;^{99m}Tc-亚锡喷替酸;算法

【中图分类号】R817.47

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)12-1280-07

Causes of GFR calculation in unilateral kidney with Gates method being affected by different definition methods of ROI in contralateral kidney and an improved Gates algorithm

WANG Changyin¹, ZHAO Yanfen², SHEN Meijuan¹, WEN Bing¹, SHEN Ying¹

1. Department of Nuclear Medicine, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071, China; 2. Department of Applied Mathematics, School of Mathematics and Statistics, Wuhan University, Wuhan 430072, China

Abstract: Objective To analyze the reasons why the calculation of glomerular filtration rate (GFR) in unilateral kidney using Gates method is affected by different methods for defining contralateral kidney's region of interest (ROI), and to explore an improved Gates algorithm. **Methods** The imaging data of 125 patients receiving renal dynamic imaging and GFR measurement were retrospectively reprocessed and analyzed. An improved split renal GFR algorithm was proposed, and the correction and difference between the improved algorithm and Gates algorithm were analyzed. **Results** The split renal GFR measured with the improved algorithm and that measured with Gates algorithm showed a strongly positive correlation ($r=0.999$, $P=0.000$), and the total renal GFR was unvaried in the two algorithms. The split renal GFR of Gates algorithm had an obviously positive correlation with renal uptake rate ($r=0.999$, $P=0.000$), but the one-to-one relationship was not found between them. A completely positive correlation ($r=1.000$, $P=0.000$) and a one-to-one relationship were found between the split renal GFR of the improved algorithm and renal uptake rate. The total renal GFR of both algorithms also had a completely positive correlation with renal uptake rate ($r=1.000$, $P=0.000$). With the decreasing size of ROI in contralateral kidney, the GFR in unilateral kidney measured with Gates algorithm gradually decreased, but that measure with the improved algorithm did not alter. **Conclusion** The improved split renal GFR algorithm ensures that the total renal GFR of both kidneys will not be affected by the size of ROI and avoids the shortcoming of Gates algorithm (the interaction between split renal GFR), ensuring the repeatability and reliability of split renal GFR measurement.

【收稿日期】2017-06-28

【基金项目】湖北省自然科学基金(2011CHB035)

【作者简介】汪长银,副主任医师,研究方向:核医学影像诊断、定量分析与影像技术,E-mail: changyinwang@yeah.net

【通信作者】沈美娟,主治医师,研究方向:核医学分子影像与功能影像,E-mail:710146286@qq.com;文兵,副主任医师,研究方向:核医学影像诊断,E-mail: wb001114@whu.edu.cn

Keywords: kidney; radionuclide imaging; glomerular filtration rate; region of interest; technetium 99m-diethylene triamine pentacetate acid; algorithm

前言

临床上常用核素肾动态显像法测量分肾的功能,^{99m}Tc标记的亚锡喷替酸(Technetium 99m-Diethylene Triamine Pentacetate Acid, ^{99m}Tc-DTPA)是肾动态显像常用的示踪剂。Gates法^[1-4]是在^{99m}Tc-DTPA肾动态显像的基础上计算分侧肾脏肾小球滤过率(Glomerular Filtration Rate, GFR)的常用方法。然而,有多种因素可影响Gates法测量结果的准确性^[5-7]。发现并研究这些影响因素,有利于工作中控制它们,以保证测量结果的准确性与可靠性。实践中发现,在Gates法计算GFR时,一侧肾脏的GFR测量结果会受到对侧肾脏的兴趣区(Region of Interest, ROI)不同勾画面积的影响^[8]。本研究分析了产生影响的原因,并提出了改进的算法。

1 材料与方法

1.1 临床资料

本研究为回顾性研究。选择已经接受了肾动态显像检查且双侧肾脏均无积水也无占位性病变的患者资料用于研究分析。患者共125例,男84例,年龄17~89岁,平均(54.9±19.1)岁;女41例,年龄25~83岁,平均(55.4±15.1)岁。

1.2 检查方法

单光子发射型计算机断层扫描仪(Single Photon Emission Computed Tomography, SPECT)为西门子公司产品(型号E.CAM),配置低能高分辨准直器。^{99m}Mo-^{99m}Tc发生器由北京原子高科股份有限公司提供。放射性层析扫描仪为合肥众成机电技术开发有限责任公司产品(FCY型)。亚锡喷替酸为北京欣科思达医药科技有限公司产品。实验室配制的显像剂^{99m}Tc-DTPA的放射化学纯度均大于95%。为避免蛋白质负荷对患者GFR的影响^[9],要求患者检查当日素食,检查前忌食蛋白质食物。检查前饮水300~500 mL,饮水后30~60 min排尿并准备执行肾动态显像检查。检查前测量身高与体重。检查时,患者仰卧于检查床上,检查中保持体位不动。显像条件:注射器显像,探头距注射器约30 cm,矩阵为256×256,放大倍数为1.23,采集时间为1 min;患者的显像,仪器探头置于后位并贴近患者,从患者肘部静脉“弹丸”式注射^{99m}Tc-DTPA约185 MBq,立即动态采集图像,矩阵为128×128,放大倍数为1.23,血流灌注相采集

时间为3 s/帧,共20帧,随后为肾实质相,其采集时间为1 min/帧,共15帧。

1.3 ROI的勾画

根据测量的患者身高、体质量计算双侧肾脏的深度。以Gamma1.0显示图像,调节亮度、对比度至合适状态以清晰显示肾脏轮廓,选择2~3 min的图像沿肾脏边缘勾画肾脏ROI并于肾脏下方至外下方设置半月形的本底ROI^[1-3],按照Gates法计算GFR。首先,保持患者的左肾ROI、左肾本底ROI以及右肾本底ROI不变,然后以Gates法勾画完整的右肾ROI(即1ROI)为基准,从右肾下极开始,在右肾区分别勾画其基准的1/2、1/4、1/8、0倍大小的ROI,如此逐渐改变右肾ROI的大小并重新计算左肾GFR,观察右肾ROI不同勾画法对左肾GFR的影响。

1.4 Gates的理论基础与算法

Gates^[1-3]研究发现,患者24 h内生肌苷清除率与^{99m}Tc-DTPA肾动态显像特定时间段肾脏摄取显像剂的数量之间呈高度正相关。Gates以内生肌苷清除率为标准,以特定时间段的肾脏摄取率为基础建立了计算肾脏总GFR的线性方程。肾脏的显像剂摄取率与GFR呈正相关是Gates建立肾动态显像法测量GFR的理论基础,肾脏的总GFR由其摄取率唯一确定是Gates法计算GFR的理论要点。Gates按照比例分配法计算了分肾GFR,即分肾GFR等于分肾显像剂摄取量占肾脏总摄取量的百分比乘以肾脏的总GFR,此为Gates的GFR算法。Gates的计算公式^[2]如下:

$$GFR_{total} = \left[\frac{(C_{LK} - C_{LB})e^{\mu_{D_L} \cdot \Delta t_1} + (C_{RK} - C_{RB})e^{\mu_{D_R} \cdot \Delta t_1}}{C_{pre} - C_{post} \cdot e^{\mu_{D_R} \cdot \Delta t_2}} \times 100 \right] \times 9.8127 - 6.82519 \quad (1)$$

$$GFR_{left} = \left[\frac{(C_{LK} - C_{LB})e^{\mu_{D_L} \cdot \Delta t_1}}{(C_{LK} - C_{LB})e^{\mu_{D_L} \cdot \Delta t_1} + (C_{RK} - C_{RB})e^{\mu_{D_R} \cdot \Delta t_1}} \times 100 \right] \% \times GFR_{total} \quad (2)$$

式中, GFR_{total} 为双侧肾脏的总GFR, GFR_{left} 为左肾GFR, GFR_{right} 为右肾GFR,其单位均为mL/min; C_{LK} 为左侧肾脏的放射性计数率, C_{RK} 为右侧肾脏的放射性计数率, C_{LB} 为左侧肾脏的本底放射性计数率, C_{RB} 为右侧肾脏的本底放射性计数率,其单位均为counts/

min; D_L 为左侧肾脏的深度, D_R 为右侧肾脏的深度, 其单位均为 cm, $D_L = 13.2 (W/H) + 0.7$, $D_R = 13.3 (W/H) + 0.7$, W 为体质量, 单位 kg, H 为身高, 单位 cm; t_1 为计算肾脏显像剂摄取率的图像采集时间与满注射器测量时间之间的间隔时间, t_2 为注射后的空注射器测量时间与满注射器测量时间之间的间隔时间, 其单位均为 min; C_{pre} 为注射前的满注射器的放射性计数率, C_{post} 为注射后的空注射器的放射性计数率, 其单位均为 counts/min; μ 为 ^{99m}Tc 在机体软组织中的线性衰减系数, 单位为 cm^{-1} , $\mu = 0.153$; λ 为 ^{99m}Tc 的物理衰变常数, 单位为 min^{-1} , $\lambda = 0.001\ 918\ 6$ 。

将式(1)代入式(2)换算后可得:

$\text{GFR}_{\text{left}} =$

$$\left[\frac{(C_{LK} - C_{LB})e^{\mu D_L} e^{\lambda t_1}}{C_{pre} - C_{post} e^{\lambda t_2}} \times 100 \right] \times 9.812\ 7 - \frac{6.825\ 19}{1 + \frac{(C_{RK} - C_{RB})e^{\mu D_R}}{(C_{LK} - C_{LB})e^{\mu D_L}}} \quad (3)$$

同理可得:

$\text{GFR}_{\text{right}} =$

$$\left[\frac{(C_{RK} - C_{RB})e^{\mu D_R} e^{\lambda t_1}}{C_{pre} - C_{post} e^{\lambda t_2}} \times 100 \right] \times 9.812\ 7 - \frac{6.825\ 19}{1 + \frac{(C_{LK} - C_{LB})e^{\mu D_L}}{(C_{RK} - C_{RB})e^{\mu D_R}}} \quad (4)$$

式(1)的中括号内为肾脏总摄取率, 式(3)的中括号内为左肾摄取率, 式(4)的中括号内为右肾摄取率。公式中, 已对肾脏净放射性计数进行了组织衰减校正与物理衰减校正, 对空注射器放射性计数执行物理衰减校正(均校正至满注射器测量时间点)。当显像时间、空注射器测量时间与满注射器测量时间之间的间隔较短时, 物理衰减校正可忽略(即 t_1 或 $t_2 \approx 0$)。

1.5 改进的 Gates 公式与算法

采用常数项分割法计算分肾 GFR。Gates 计算肾脏总 GFR 公式的常数项为 -6.825 19, 对常数项进行等份分割为 -3.412 595, 并将其分别分配到分肾 GFR 的计算公式中, 则分肾 GFR 的计算公式如下:

$$\text{GFR}_{\text{left}} = \left[\frac{(C_{LK} - C_{LB})e^{\mu D_L} e^{\lambda t_1}}{C_{pre} - C_{post} e^{\lambda t_2}} \times 100 \right] \times 9.812\ 7 - 3.412\ 595 \quad (5)$$

$$\text{GFR}_{\text{right}} = \left[\frac{(C_{RK} - C_{RB})e^{\mu D_R} e^{\lambda t_1}}{C_{pre} - C_{post} e^{\lambda t_2}} \times 100 \right] \times 9.812\ 7 - 3.412\ 595 \quad (6)$$

式(5)的中括号内为左肾摄取率, 式(6)的中括

号内为右肾摄取率。

1.6 GFR 变化幅度的计算

按 Gates 法勾画完整的双肾 ROI 及相应的本底 ROI 时, 计算患者的左肾 GFR 设为 GFR_a , 保持双肾本底 ROI 及左肾 ROI 不变, 患者右肾 ROI 大小改变时计算的左肾 GFR 设为 GFR_b , 则左肾 GFR 的相对变化幅度(Relative Change Amplitude, RCA)^[10] 计算如下:

$$\text{RCA}(\%) = \frac{\text{GFR}_b - \text{GFR}_a}{\text{GFR}_a} \times 100 \quad (7)$$

GFR 相对变化幅度正值表示其 GFR 升高, 负值表示其 GFR 降低。

1.7 统计学方法

使用 IBM SPSS 21.0 软件处理数据。改进的算法与 Gates 算法的 GFR 之间的相关性采用 Pearson 相关分析, 改进的算法与 Gates 算法的 GFR 与肾脏摄取率之间的关系采用 Pearson 相关分析, 以散点图表示数据。检验水准 $\alpha = 0.05$, $P < 0.05$ 具有统计学意义。

2 结果

2.1 在改进的算法与 Gates 算法中, GFR 计算值之间的关系

保持肾脏 ROI 与本底 ROI 不变, 改进的算法与 Gates 算法的肾脏总 GFR 不变, 二者呈完全正相关($r = 1.000$, $P = 0.000$)(图 1a); 相对于 Gates 算法, 改进的算法分肾 GFR 发生小幅度改变但仍与 Gates 算法的分肾 GFR 呈高度正相关($r = 0.999$, $P = 1.000$)(图 1b、图 1c)。可见, 改进的算法对肾脏总 GFR 没有影响。

2.2 在改进的算法与 Gates 算法中, GFR 计算值与肾脏摄取率之间的关系

保持肾脏 ROI 与本底 ROI 不变, Gates 算法的肾脏总 GFR 与其总摄取率呈完全正相关($r = 1.000$, $P = 0.000$)(图 2a); 分肾 GFR 与分肾摄取率呈高度正相关, 但并非一一对应的关系($r = 0.999$, $P = 1.000$)(图 2b、图 2c); 改进算法的肾脏总 GFR 与其总摄取率呈完全正相关($r = 1.000$, $P = 0.000$)(图 2d); 而且分肾 GFR 与分肾摄取率也呈完全正相关($r = 1.000$, $P = 0.000$)(图 2e、图 2f), 分肾 GFR 与其摄取率间呈一一对应的关系。可见, 改进的算法不仅保持了 Gates 算法的肾脏总 GFR 由其总摄取率唯一确定的特性, 而且改进后分肾的 GFR 也分别由分肾摄取率唯一确定。

2.3 一侧肾脏 ROI 改变时, 改进算法与 Gates 算法的比较

保持左肾 ROI、左肾本底 ROI 与右肾本底 ROI 不变, 改变右肾 ROI 大小。在 Gates 算法中, 左肾 GFR 随着右

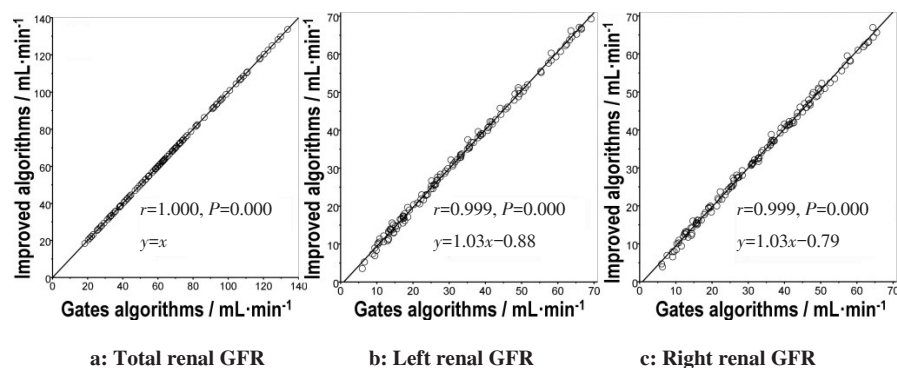


图1 改进的算法与Gates算法的GFR计算值之间的相关性

Fig.1 Correlation of glomerular filtration rate (GFR) measured with improved algorithms and Gates algorithms

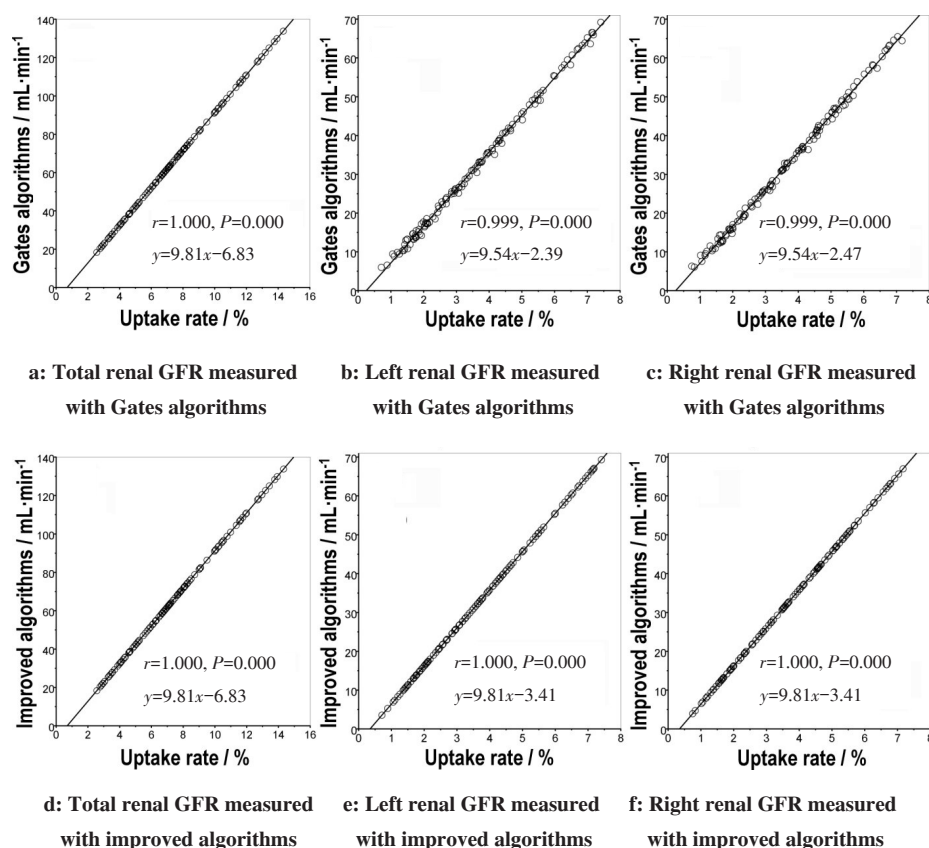


图2 改进的算法与Gates算法的GFR计算值与肾脏摄取率之间的相关性

Fig.2 Correlation of renal uptake rate and GFR measured with improved algorithms or Gates algorithms

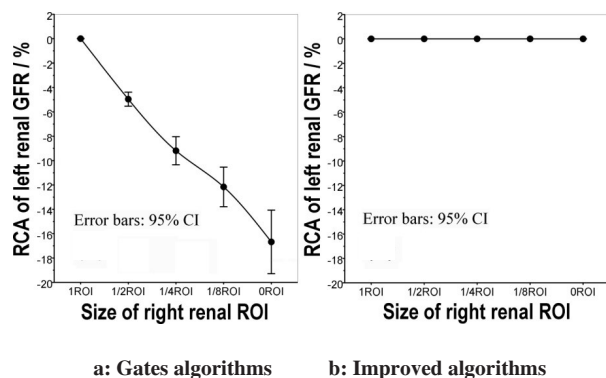
肾ROI的减小而降低,右肾ROI越小则左肾GFR下降越多(图3a)。在改进的算法中,右肾ROI大小变化时,左肾GFR不变(图3b)。可见,改进的算法保证了一侧肾脏的GFR大小不受对侧肾脏ROI勾画的影响。

3 讨论

3.1 Gates法测量的分肾GFR受对侧肾脏ROI勾画影响的原因

Gates法基于特定时间段的肾脏显像剂摄取率与肾脏GFR成正相关而建立了回归方程以计算GFR,

肾脏总GFR与肾脏总摄取率呈线性关系^[1-3]。从Gates方程可知,肾脏显像剂摄取率增高则其GFR必然增大,肾脏显像剂摄取率不变则其GFR必然不变。本研究中,图2a结果显示,按照Gates法计算的患者肾脏总GFR与其总摄取率呈完全正相关,表明肾脏总GFR与肾脏总摄取率之间是一一对应的,这验证了Gates法以肾脏摄取率确定GFR的计算理论。因此,在肾脏总摄取率与肾脏总GFR层面,实际测量的GFR与摄取率之间的关系完全符合Gates公式与计算理论。但是,在分肾层面,从图2b、图2c可



RCA: Relative change amplitude (%)

图3 右肾 ROI 大小的改变对左肾 GFR 的影响

Fig.3 Effect of altering size of right renal ROI on left renal GFR

见,相同的分肾摄取率可对应不同的GFR值,相同的分肾GFR值亦可对应不同的摄取率水平,也就是说,Gates法计算的分肾GFR与分肾摄取率之间并非呈一一对应的关系,因此,分肾GFR并非由其摄取率唯一确定。上述情况表明,分肾GFR和摄取率之间的关系,不同于肾脏总GFR与总摄取率之间的关系,Gates法分肾GFR的计算有悖于其以肾脏摄取率确定GFR的计算理论。图3a结果显示,分肾GFR的大小还受对侧肾脏ROI勾画的影响,这种影响可产生多方面的弊端^[10],它是Gates的分肾GFR算法存在的缺点。

式(3)与式(4)是按照Gates法变换后计算分肾GFR的公式。由式(3)与式(4)可知,分肾GFR并非是以分肾摄取率为自变量的线性函数,分肾GFR不仅与分肾的显像剂摄取率有关,还与对侧肾脏的显像剂摄取数量有关。分析式(3)可知,特定检查的净注射剂量一定,如果左侧肾脏的净放射性计数率($C_{LK}-C_{LB}$)一定,则左肾摄取率一定,此时左肾GFR仅随着右肾净放射性计数率($C_{RK}-C_{RB}$)变化,右肾净放射性计数率越低则左肾GFR越低,反之亦然,即左肾GFR与右肾净放射性计数率呈同向变化。分析式(4)同样可知,右肾GFR与左肾净放射性计数率呈同向变化。因此,分肾GFR与对侧肾脏的净放射性计数率呈同向变化的函数关系。而对侧肾脏ROI的不同勾画可导致其显像剂净放射性计数率发生改变,必然影响到分肾GFR的改变。变换后的Gates法分肾GFR计算公式清楚表明了分肾GFR与分肾摄取率和对侧肾脏摄取显像剂数量的关系,它显示了Gates法计算的分肾GFR存在受对侧肾脏ROI勾画影响的缺点,揭示了其产生原因在于Gates的分肾GFR算法本身。

3.2 改进算法的优点及其数学依据

Gates建立GFR算法时确定了肾脏总摄取率是计算肾脏总GFR的基础,然而Gates并未刻意要求分肾GFR的计算背离这一基础。Gates采用比例分配法计算分肾GFR是自然的做法,可是它却使分肾GFR的算法失去了独立性,使得分肾GFR的计算必须依赖于对侧肾脏,增加了对侧肾脏的干扰,从而造成了分肾GFR的算法基础与肾脏总GFR的算法基础不一致。改进的算法并非对Gates算法进行了大幅度改变。本研究表明,改进的算法计算的肾脏总GFR与Gates算法的肾脏总GFR完全一致,改进的算法计算的分肾GFR虽然与Gates算法计算的分肾GFR有所不同,但是仍然呈高度正相关。因此,改进的算法实质上保持了Gates算法的肾脏总GFR准确性不变,同时执行了分肾GFR算法的小幅修改。改进的算法不仅保证了肾脏总GFR由其摄取率唯一确定(图2d),而且也保证了分肾GFR由其摄取率唯一确定(图2e、图2f)。图3b结果表明,改进的算法计算的分肾GFR,不受对侧肾脏摄取显像剂数量的影响,也不受对侧肾脏ROI勾画的影响,具有独立性。可见,改进的算法既保证了肾脏总GFR符合Gates算法的计算理论,也保证了分肾GFR与总肾GFR的计算理论一致。这些均是改进的分肾GFR算法的优点。

式(5)和式(6)是改进的算法计算分肾GFR的公式,式(5)与式(6)之和即为式(1)。由式(5)与式(6)可知,分肾GFR是以分肾摄取率为自变量的线性函数,分肾GFR仅仅与分肾的显像剂摄取率有关,而与对侧肾脏的显像剂摄取数量无关。因此,改进的分肾GFR的计算公式表明了分肾GFR与分肾摄取率之间呈一一对应的函数关系,它显示分肾GFR不再受对侧肾脏因素的影响,揭示了改进的分肾GFR算法所具有的优点及其内在原因。

3.3 改进算法在临床上的应用价值

尽管Gates算法存在一些缺点,然而,由于Gates法十分简便,还可提供肾脏的血流、放射性分布与排泄情况,尤其是具有计算分肾功能的优势,所以其临床应用十分广泛。Gates^[4]以及其它学者^[6,11-14]在工作中不断对原始的Gates算法^[1]进行了改进,使之更为完善。也有学者验证了改进算法的准确性,推动了Gates算法的进一步优化^[15]。由于蛋白质负荷可以明显影响GFR结果^[9],所以我们在常规控制蛋白质饮食(即检查当日素食)的条件下测量患者基础状态下的GFR。工作中发现,肾癌患者切除肾脏后,保留肾脏的GFR常常呈现术后降低的现象。研究者进一步分析了Gates公式,发现了Gates法计算分肾GFR时存在上述不足。在工作中,勾画肾脏的ROI时我们并不

会有意违反基本规则而任意勾画,其显像剂摄取率也不会随之不合理地改变。然而,在核医学实践中,类似的情形却十分常见。首先,临床上常常可见单侧肾脏的病变,单侧肾脏的病变可引起单侧肾脏功能的改变,而单侧肾脏功能的改变在肾动态显像时就表现为特定时间段肾脏显像剂摄取率的改变,此时,即使另一侧肾脏的功能不变,也会由于病变肾脏显像剂摄取率的改变而导致 Gates 法计算的另一侧肾脏 GFR 发生改变。其次,单侧病变肾脏的病情进展与恢复,均可导致其显像剂摄取率的改变,这种改变在 Gates 算法中成了另一侧肾脏 GFR 的影响因素。另外,对于肾癌患者,临床上有时采取的是患肾切除术,一旦一侧肾脏切除,术后病变肾脏的显像剂摄取率会发生很大变化。临床医师常常期望肾癌术后保留肾脏的 GFR 能代偿性升高,实际情况却并非如此,在 Gates 算法中,常常首先看到的是术后保留肾脏的显像剂摄取率不变而 GFR 反而降低,这种让临床医师备感困惑的现象恰巧能用上述影响因素来解释。再者,对于单侧肾脏积水的患者,积水肾脏 ROI 的勾画存在不同的方式,一种方式是勾画全肾 ROI,但是有学者认为勾画全肾 ROI 时 GFR 测量值不准确,建议采用勾画肾皮质 ROI 的方式^[16]。而在这两种不同的肾脏 ROI 勾画方式下,肾脏 ROI 内的净放射性计数率可有较大的差异,这种差异在 Gates 算法中可导致对侧非积水肾脏产生不同的 GFR 值。此时,对于特定患者,其非积水肾脏的 GFR 真实值应是固定的值,然而,它却因为积水肾脏 ROI 的不同勾画方法而改变,这是矛盾的。本研究中,一侧肾脏 ROI 的不同勾画导致其显像剂摄取率发生改变,并进而影响对侧肾脏 GFR 的情形,模拟了临床工作中所见的上述现实情形。本研究以常数项分割法改进了分肾 GFR 的算法,有效避免了 Gates 的分肾 GFR 算法受对侧肾脏影响的缺点。

4 结 论

Gates 法测量的分肾 GFR 受到了对侧肾脏 ROI 的不同勾画或对侧肾脏功能变化的影响。Gates 法中,肾脏总 GFR 由肾脏总摄取率唯一确定,而分肾 GFR 并非由分肾摄取率唯一确定,显示分肾 GFR 的算法基础与肾脏总 GFR 的不一致。本研究推导了 Gates 法计算分肾 GFR 的公式,发现分肾 GFR 受对侧肾脏影响的原因正在于 Gates 的算法本身。本研究对 Gates 的算法作了小幅改变,用常数项等份分割法代替 Gates 的比例分配法计算分肾 GFR。改进的算法中,肾脏总 GFR 与肾脏总摄取率呈线性函数,分肾

GFR 与分肾摄取率也呈线性函数,分肾与总肾具有一致的算法基础。本研究验证了改进的算法,结果显示,改进的算法测量的肾脏总 GFR 与 Gates 算法完全一致,而其测量的分肾 GFR 不再受对侧肾脏的影响,避免了 Gates 算法测量的分肾 GFR 受对侧肾脏干扰的缺点,保证了分肾 GFR 计算的重复性、可靠性。

【参考文献】

- [1] GATES G F. Glomerular filtration rate: estimation from fractional renal accumulation of ^{99m}Tc- DTPA (stannous) [J]. AJR Am J Roentgenol, 1982, 138(3): 565-570.
- [2] GATES G F. Split renal function testing using Tc-99m DTPA: a rapid technique for determining differential glomerular filtration [J]. Clin Nucl Med, 1983, 8(9): 400-407.
- [3] GATES G F. Computation of glomerular filtration rate with Tc-99m DTPA: an in-house computer program [J]. J Nucl Med, 1984, 25(5): 613-618.
- [4] GATES G F. A dose-attenuation shield for use in glomerular filtration rate computations. A method for combined renal scintiangiography and functional quantification [J]. Clin Nucl Med, 1991, 16(2): 73-78.
- [5] 李乾, 张春丽, 王荣福. 肾动态显像测定肾小球滤过率的影响因素 [J]. 中国医学影像技术, 2004, 20(6): 962-964.
LI Q, ZHANG C L, WANG R F. Influence elements in the process of dynamic renal imaging to measure glomerular filtration rate [J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2004, 20(6): 962-964.
- [6] 麻广宇, 邵明哲, 陈云爽, 等. 肾脏深度对 SPECT 测定肾小球滤过率的影响 [J]. 中国医学影像技术, 2013, 29(5): 800-804.
MA G Y, SHAO M Z, CHEN Y S, et al. Impact of kidney depth on the measurement of glomerular filtration rate with SPECT [J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2013, 29(5): 800-804.
- [7] 麻广宇, 邵明哲, 陈英茂, 等. 计数时间窗位置对 SPECT 测定肾小球滤过率的影响 [J]. 中国医学影像技术, 2013, 29(6): 967-971.
MA G Y, SHAO M Z, CHEN Y M, et al. Influence of counting time window position on SPECT determination of glomerular filtration rate [J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2013, 29(6): 967-971.
- [8] 汪长银, 赵燕芬. Gates 法测肾功能时一侧肾脏感兴趣区勾画面积对另一侧肾小球滤过率的影响 [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2016, 36(5): 464-465.
WANG C Y, ZHAO Y F. Influence of different outlining for region of interest in one kidney with Gates method on glomerular filtration rate of the contralateral kidney [J]. Chinese Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, 2016, 36(5): 464-465.
- [9] PREISS D J, GODBER I M, LAMB E J, et al. The influence of a cooked-meat meal on estimated glomerular filtration rate [J]. Ann Clin Biochem, 2007, 44(Pt1): 35-42.
- [10] 汪长银, 赵燕芬, 沈美娟, 等. 肾动态显像测量肾功能时一侧肾脏感兴趣区的不同勾画对另一侧肾脏肾小球滤过率的影响 [J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(2): 175-181.
WANG C Y, ZHAO Y F, SHEN M J, et al. Effects of differently outlining region of interest for one kidney on glomerular filtration rate of contralateral kidney in renal dynamic imaging [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(2): 175-181.
- [11] STEINMETZ A P, ZWAS S T, MACADZIOB S, et al. Renal depth estimates to improve the accuracy of glomerular filtration rate [J]. J Nucl Med, 1998, 39(10): 1822-1825.

- [12] ASSADI M, EFTEKHARI M, HOZHABROSADATI M, et al. Comparison of methods for determination of glomerular filtration rate: low and high-dose Tc-99m-DTPA renography, predicted creatinine clearance method, and plasma sample method [J]. *Int Urol Nephrol*, 2008, 40(4): 1059-1065.
- [13] TIAN C, ZHENG X, HAN Y, et al. A semi-automated region of interest detection method in the scintigraphic glomerular filtration rate determination for patients with abnormal low renal function[J]. *Clin Nucl Med*, 2013, 38(11): 855-862.
- [14] KIM Y I, HA S, SO Y, et al. Improved measurement of the glomerular filtration rate from Tc-99m DTPA scintigraphy in patients following nephrectomy[J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(2): 413-422.
- [15] SAEED S, SAEED S, KHAWAR A, et al. Comparison of gamma camera-based methods to measure glomerular filtration rate in potential kidney donors[J]. *Nucl Med Commun*, 2015, 36(5): 481-485.
- [16] 柴雪红, 李亚明, 高凡, 等. 用肾皮质区 ROI 计算 GFR 评价尿路梗阻患者肾功能[J]. *中华核医学杂志*, 2005, 25(4): 232-234.
- CHAI X H, LI Y M, GAO F, et al. Evaluation of renal function in urinary obstruction by ^{99m}Tc -DTPA imaging calculated GFR with renal cortical ROI[J]. *Chinese Journal of Nuclear Medicine*, 2005, 25(4): 232-234.

(编辑:陈丽霞)