

· 肾 SPECT/CT 显像 ·

CT 测量肾脏深度优化 Gates 法测定肾小球滤过率

李坤 胡佳 龚成鹏 胡帆 唐荣梅 兰晓莉

华中科技大学同济医学院附属协和医院核医学科、分子影像湖北省重点实验室, 武汉 430022

通信作者: 兰晓莉, Email: hzslxl@163.com

【摘要】目的 探讨 CT 测量肾脏深度校正和优化的采集及后处理方法在 Gates 法测定肾小球滤过率(GFR)中的应用价值。**方法** 回顾性分析 2018 年 1 月至 2019 年 11 月在华中科技大学同济医学院附属协和医院行肾动态显像 Gates 法测定 GFR 的患者 157 例[男 102 例,女 55 例,年龄(51.4±14.5)岁],包括正常肾区组(肾脏位置和形态正常,且排除肾积水、肾占位及腹膜后包块等影响肾脏深度因素的成人患者)118 例和非正常肾区组 39 例(移植肾 19 例,马蹄肾 11 例,异位肾 9 例)。对正常肾区组分别采用 CT 测量、传统 Tonnesen 公式、李乾公式(简称 Li 法)计算肾脏深度,并得到相应 GFR;对非正常肾区组,分别采用优化的采集和后处理方法、传统的后处理方法、慢性肾脏病流行病学协作组(CKD-EPI)推荐的基于酶法测定血清肌酐(Scr)估算法得到的 GFR(分别用 GFR_优、GFR_传 和 eGFR 表示)。采用单因素方差分析和最小显著差异 t 检验比较正常肾区组 Tonnesen 公式和 Li 法所得的肾脏深度及相应 GFR 与 CT 实测法的差异、非正常肾区组 GFR_优 和 GFR_传 与 eGFR 的差异;采用 Pearson 相关分析和 Bland-Altman 分析评价不同方法计算 GFR 的相关性和一致性。**结果** 正常肾区组,CT 实测左、右肾脏深度分别为(7.40±1.43)和(7.51±1.37) cm。Tonnesen 公式低估了肾脏深度[左肾(6.03±0.82) cm,右肾(6.06±0.84) cm; F 值:64.145 和 68.567,均 P<0.01],且肾脏深度偏差随 CT 实测深度的增加而增大(r 值:0.847 和 0.834,均 P<0.01)。Tonnesen 公式相应的总肾 GFR 为(56.93±28.42) ml·min⁻¹·1.73 m⁻²,与 CT 实测法[(73.43±36.56) ml·min⁻¹·1.73 m⁻²]的差异有统计学意义(F=9.423, P<0.01);Li 法估算的左、右肾脏深度分别为(7.55±1.03)和(7.52±0.98) cm,相应的总肾 GFR 为(73.65±34.50) ml·min⁻¹·1.73 m⁻²,与 CT 实测法的差异均无统计学意义(均 P>0.05);Li 法所得 GFR 与 CT 实测法相关性(r=0.901, P<0.01)和一致性更好。非正常肾区组,GFR_优、GFR_传 和 eGFR 分别为(63.11±27.40)、(48.40±25.45) 和(59.89±32.24) ml·min⁻¹·1.73 m⁻²,其中 GFR_传 与 GFR_优 的差异有统计学意义(F=2.870, P=0.025);GFR_优 与 eGFR 相关性(r=0.941, P<0.01)和一致性更好。**结论** Tonnesen 公式低估了肾脏深度且存在局限性,利用 CT 图像测量肾脏深度,进行深度校正,可以提高 Gates 法测定 GFR 的准确性。对于移植肾、马蹄肾、异位肾及腹膜后包块等特殊情况,优化采集方案及后处理方法对于获得准确的 GFR 非常重要。

【关键词】 肾小球滤过率;放射性核素显像;99m 锝五乙酸盐;体层摄影术,X 线计算机

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200310-00095

Renal depth measured by CT optimize the glomerular filtration rate using Gates method

Li Kun, Hu Jia, Gong Chengpeng, Hu Fan, Tang Rongmei, Lan Xiaoli

Department of Nuclear Medicine, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Hubei Province Key Laboratory of Molecular Imaging, Wuhan 430022, China

Corresponding author: Lan Xiaoli, Email: hzslxl@163.com

【Abstract】 **Objective** To explore the application value of CT measurement of renal depth correction, optimized acquisition and post-processing in the measurement of renal glomerular filtration rate (GFR) by Gates renal dynamic imaging. **Methods** From January 2018 to November 2019, 157 patients (102 males, 55 females, age (51.4±14.5) years) including 118 in normal renal area group (adults with normal renal position and morphology, and excluding hydronephrosis, renal occupation, retroperitoneal mass and other factors affecting renal depth) and 39 in abnormal renal area group (19 of transplanted kidney, 11 of horseshoe kidney and 9 of ectopic kidney), were retrospectively enrolled in Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology. The GFR was measured by renal dynamic imaging Gates method. For the normal renal area group, the renal depth was calculated by CT method, the traditional

Tonnesen formula or the Li Qian formula. For the abnormal renal area group, the GFR was measured by optimized acquisition and post-processing method (GFR optimization), the traditional post-processing method (GFR tradition), or Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration (CKD-EPI) formula method (eGFR). The differences of the renal depth and corresponding GFR obtained by different methods were analyzed using one-way analysis of variance and the least significant difference (LSD) *t* test. The correlation was analyzed by Pearson correlation analysis, and the consistency was analyzed by Bland-Altman analysis. **Results** In the normal renal area group, the left and right renal depth measured by CT were (7.40 ± 1.43) and (7.51 ± 1.37) cm. Tonnesen formula underestimated renal depth (left kidney: (6.03 ± 0.82) cm, right kidney: (6.06 ± 0.84) cm; *F* values: 64.145 and 68.567, both $P < 0.01$), and the deviation increased with the increase of CT measured depth (*r* values: 0.847 and 0.834, both $P < 0.01$). The GFR measured by Tonnesen formula was (56.93 ± 28.42) $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$, and the difference was statistically significant compared with CT method ((73.43 ± 36.56) $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$; *F* = 9.423, $P < 0.01$). The renal left and right depth measured by Li Qian formula were (7.55 ± 1.03) and (7.52 ± 0.98) cm, and the total GFR was (73.65 ± 34.50) $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ with no differences compared with CT method (all $P > 0.05$). The GFR obtained by Li Qian formula had better correlation (*r* = 0.901, $P < 0.01$) and consistency with CT method. In the abnormal renal area group, GFR optimization, GFR tradition and eGFR was (63.11 ± 27.40), (48.40 ± 25.45) and (59.89 ± 32.24) $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$, respectively, and the difference between GFR tradition and GFR optimization was statistically significant (*F* = 2.870, $P = 0.025$). GFR optimization had better correlation (*r* = 0.941, $P < 0.01$) and consistency with eGFR. **Conclusions** Tonnesen formula underestimates the renal depth. Using CT to measure renal depth and perform depth correction can improve the accuracy of Gates method for GFR determination. For the special cases of transplanted kidney, horseshoe kidney, ectopic kidney and retroperitoneal mass, it is important to optimize acquisition scheme and post-processing method to obtain accurate GFR.

【Key words】 Glomerular filtration rate; Radionuclide imaging; Technetium Tc 99m pentetate; Tomography, X-ray computed

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200310-00095

放射性核素肾动态显像使用 Gates 法测定肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR),是目前临床应用广泛的简便、无创评估分肾功能的检查方法,其结果的准确性和可靠性至关重要。影响肾动态显像结果准确性的因素较多,肾脏深度是主要因素之一^[1-2],传统的 Tonnesen 公式计算的肾脏深度与实际深度存在一定的偏差^[3-4],且不适用于移植肾、马蹄肾、异位肾及腹膜后占位使肾脏受挤压移位的患者。本研究探讨 CT 直接测量肾脏深度代替 Tonnesen 公式计算 GFR 的准确性和可行性,尤其在移植肾等肾脏不在原肾区或肾脏形态异常时 GFR 的测定中,探讨优化采集方式和后处理方法所得结果的准确性。

资料与方法

1. 研究对象。回顾性分析 2018 年 1 月至 2019 年 11 月间于本科利用同一台 SPECT/CT 仪行⁹⁹Tc^m-二乙撑三胺五乙酸(diethylene triamine pentaacetic acid, DTPA)肾动态显像 Gates 法测定 GFR 的患者共 157 例,男 102 例,女 55 例,年龄 11~84(51.4±14.5)岁,分为正常肾区组和非正常肾区组。正常肾区组是指肾脏在腹膜后原肾区且形态正常无变异,无肾积水、肾萎缩、无肾脏及腹膜后占位、无腹部包块使肾脏挤压移位等可能会造成肾脏深度改变的成人患者,共 118 例,男 74 例,女 44 例,年龄 19~84(53.1±14.1)岁。非正常肾区组是指肾脏不在原肾

区或肾脏形态异常,或有肾脏或腹膜后占位、重度肾积水及腹部包块挤压肾脏的患者,共 39 例,男 28 例,女 11 例,年龄 11~75(46.3±14.7)岁,其中异体移植肾 19 例,马蹄肾 11 例,异位肾 9 例。血清肌酐(serum creatinine, Scr)正常肾区组为 47~762(125.6±99.7) $\mu\text{mol/L}$,非正常肾区组为 59~486(153.1±93.9) $\mu\text{mol/L}$ (正常参考范围:男性,44~133 $\mu\text{mol/L}$;女性,44~106 $\mu\text{mol/L}$)。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则。

2. 显像方法。显像仪器为配备有 16 排诊断 CT 的美国 GE Discovery NM/CT 670Pro SPECT/CT 仪,配置低能通用准直器。⁹⁹Mo-⁹⁹Tc^m发生器由北京原子高科股份有限公司提供,DTPA 药盒由北京师宏药物研究所提供,标记后⁹⁹Tc^m-DTPA 放化纯>95%。患者检查前 30 min 饮水 300 ml 以上,临检前排空尿液。正常肾区组显像取平躺仰卧后位采集,检查过程中患者体位保持不动,探头视野包括双肾、输尿管及膀胱;若患者近 1 周内在本院未曾行腹部 CT 检查,则先行腹部低剂量 CT 扫描(30 mA,120 kV),然后经肘静脉“弹丸”式注射(排除注射外渗等技术因素)约 185 MBq ⁹⁹Tc^m-DTPA,注射后即刻行双时相动态采集共 21 min,采集能峰 140 keV,矩阵 64×64,窗宽 20%,放大倍数 1.33 倍。非正常肾区组,采用前后位同时采集,前位探头尽可能靠近身体,移植肾

患者采集放大倍数 1 倍, 视野除了移植肾和膀胱, 尽可能包括原肾区以判断原肾功能, 其他采集要求同正常肾区组。

3. 肾脏深度计算方法。(1) 正常肾区组。计算肾脏深度传统的 Tonnesen 公式(Xeleris 后处理工作站肾脏深度默认估算公式)为:

$$D_L = 13.2 \times W/H + 0.7, D_R = 13.3 \times W/H + 0.7 \quad \text{公式 1}$$

李乾公式(下文简称 Li 法)^[5]:

$$D_L = 0.01025 \times \text{Age} + 16.772 \times W/H + 0.224, D_R = 0.009637 \times \text{Age} + 15.449 \times W/H + 0.782 \quad \text{公式 2}$$

公式中 D 为肾脏深度(cm), L 为左肾, R 为右肾, W 为体质量(kg), H 为身高(cm), Age 为年龄(岁)。

CT 直接测量肾脏深度法(图 1A):选取腹部 CT 肾门水平层面图像, 分别测量肾脏前、后缘到背部体表皮肤表面的垂直距离, 取两者均值为肾脏深度。

(2) 非正常肾区组。利用 CT 图像(图 1B 和 1C)分别测量 19 例移植肾前、后位肾脏深度, 11 例马蹄肾前位肾脏深度, 9 例异位肾健侧肾的后位深度及异位一侧肾的前位深度。CT 测量前位肾脏深度的方法:选取肾门水平图像, 取肾脏前、后缘到腹部体表皮肤表面垂直距离的均值为肾脏深度。

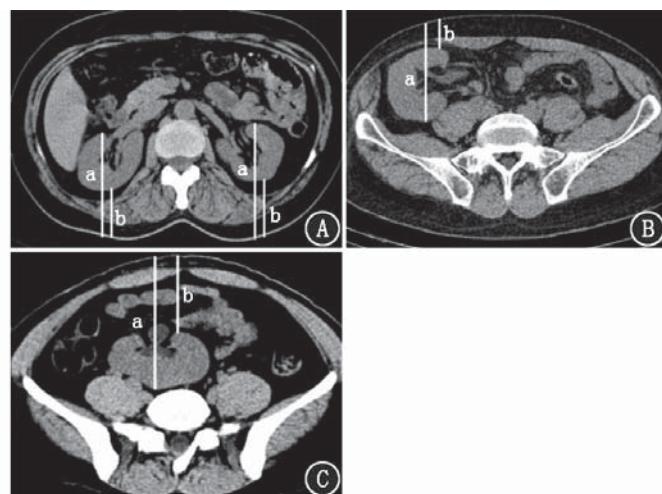


图 1 CT 图像测量肾脏深度方法示意图。A. 后位肾脏深度测量方法; B. 右髂窝移植肾前位深度测量方法; C. 异位至盆腔的肾脏前位深度测量方法。肾脏深度(cm)=(a+b)/2

4. 图像后处理方法。采用美国 GE 公司 Xeleris 工作站的肾脏后处理分析软件人工勾画感兴趣区(region of interest, ROI)处理图像。正常肾区组, 分别用 CT 实测、Tonnesen 公式及 Li 法计算肾脏深度, 在保证肾脏及本底 ROI 不变的基础上, 代入 Gates 法测量软件中获得不同方法所测得的 GFR 值, 结果均标准化, 单位为 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ 。非正常肾区组, 用优化的采集方案和后处理方法测量的总肾 GFR 和传统后处理方法测量的总肾 GFR 分别用

GFR_优 和 GFR_传 表示。具体方法如下: 移植肾 CT 实测移植肾前位深度、用前位图像后处理得到移植肾的 GFR, 原肾后位校正深度、用后位图像处理得到原肾的 GFR, 两者相加得到的总 GFR 为 GFR_优; CT 测量移植肾后位深度用后位图像处理所得 GFR, 加上原肾用传统后处理法得到的总 GFR 为 GFR_传。马蹄肾 CT 实测前位肾脏深度, 用前位图像后处理得到 GFR_优; 用后位图像传统处理方法得到相应的 GFR_传。异位肾 CT 实测异位的一侧肾的前位深度采用前位图像后处理, 健侧肾 CT 测量校正后位肾脏深度采用后位图像后处理, 两者的总 GFR 为 GFR_优; 用后位图像传统处理方法得到相应的 GFR_传。

5. eGFR 的计算公式。由 2009 年慢性肾脏病流行病学协作组(Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration, CKD-EPI) 推荐的基于酶法测定 Scr 估算 GFR(estimated GFR, eGFR) 的 CKD-EPI_{Scr} 公式如下^[6-8]:

$$\text{女性: 若 } \text{Scr} \leq 0.7, \text{eGFR} = 144 \times (\text{Scr}/0.7)^{-0.329} \times 0.993^{\text{Age}}$$

$$\text{若 } \text{Scr} > 0.7, \text{eGFR} = 144 \times (\text{Scr}/0.7)^{-1.209} \times 0.993^{\text{Age}}$$

$$\text{男性: 若 } \text{Scr} \leq 0.9, \text{eGFR} = 141 \times (\text{Scr}/0.9)^{-0.411} \times 0.993^{\text{Age}}$$

$$\text{若 } \text{Scr} > 0.9, \text{eGFR} = 141 \times (\text{Scr}/0.9)^{-1.209} \times 0.993^{\text{Age}}$$

公式 3

其中, Scr 单位为 mg/dl(1 mg/dl = 88.40 $\mu\text{mol/L}$), Age 为年龄(岁)。

6. 统计学分析。应用 IBM SPSS 19.0 软件进行统计学分析, 符合正态分布的定量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用单因素方差分析和最小显著差异 t 检验比较正常肾区组 Tonnesen 公式和 Li 法所得的肾脏深度及相应 GFR 与 CT 实测法的差异、非正常肾区组 GFR_优 和 GFR_传 与 eGFR 的差异; 采用 Pearson 相关分析和 Bland-Altman 图评价不同方法计算 GFR 的相关性和一致性。P<0.05 为差异或相关性有统计学意义。

结 果

1. 正常肾区组不同方法所测得的肾脏深度及 GFR 结果(表 1)。118 例患者中单肾 4 例, 左肾 117 个, 右肾 115 个。以 CT 实测肾脏深度作为评价标准, Tonnesen 公式低估了肾脏深度(F 值: 64.145 和 68.567, 均 P<0.01), 其与 CT 测量肾脏深度的偏差随着真实深度的增加而增大(图 2; r 值: 0.847 和 0.834, 均 P<0.01); Tonnesen 公式相应的 GFR 也被低估, 差异有统计学意义(F 值: 6.148、7.969 和 9.423, 均 P<0.01)。Li 法与 CT 测量法肾脏深度及

表 1 不同方法测量的 118 例正常肾区组患者肾脏深度值及其相应 GFR 值($\bar{x} \pm s$)

方法	左肾深度 (cm)	右肾深度 (cm)	GFR _左 (ml · min ⁻¹ · 1.73 m ⁻²)	GFR _右 (ml · min ⁻¹ · 1.73 m ⁻²)	GFR _总 (ml · min ⁻¹ · 1.73 m ⁻²)
Tonnesen 法 ^[3]	6.03±0.82	6.06±0.84	26.83±16.10	31.11±16.53	56.93±28.42
Li 法 ^[5]	7.55±1.03	7.52±0.98	34.46±19.61	39.90±20.26	73.65±34.50
CT 测量法	7.40±1.43	7.51±1.37	34.11±20.35	40.21±21.72	73.43±36.56

注:GFR 为肾小球过滤率,Li 法为李乾公式

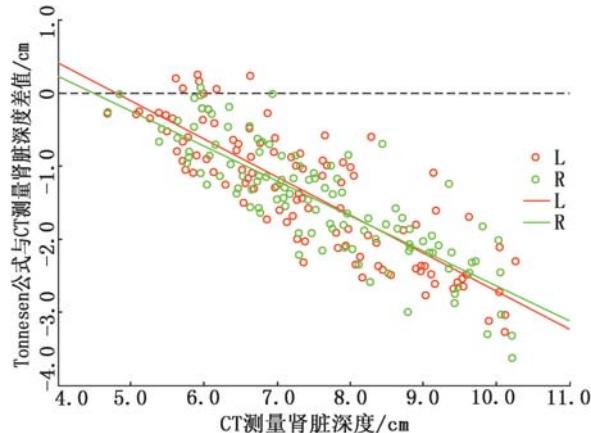


图 2 Tonnesen 公式与 CT 实测肾脏深度差值与 CT 测量肾脏深度的相关性(L 为左肾,R 为右肾)

GFR 的差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

2. 正常肾区组公式法与 CT 实测法 GFR 的相关性和一致性分析。Tonnesen 公式、Li 法与 CT 实测肾脏深度优化的 GFR 相关系数分别为 0.895 和 0.901, CT 实测法 GFR 与 Li 法相关性更好。Tonnesen 公式、Li 法与 CT 所得 GFR 差值的分析结果见图 3, Bland-Altman 一致性分析显示 Li 法与 CT 校正肾脏深度优化测量的 GFR 有较好的一致性。

3. 非正常肾区组不同后处理方法所得 GFR 与 eGFR 间比较。GFR_优、GFR_传 和 eGFR 分别为 (63.11 ± 27.40) 、 (48.40 ± 25.45) 和 (59.89 ± 32.24) ml · min⁻¹ · 1.73 m⁻², 其中 GFR_传 与 GFR_优 的差异有统计学意义($F = 2.870$, $P = 0.025$), GFR_传 与 eGFR、GFR_优 与 eGFR 的差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

4. 非正常肾区组不同后处理方法所得的 GFR 与 eGFR 相关性和一致性分析。GFR_优、GFR_传 与 eGFR 的相关系数分别为 0.941 和 0.923, GFR_优 与 eGFR 相关性更好。2 种后处理方法测得的 GFR 与 eGFR 差值的分析见图 4, Bland-Altman 一致性分析显示优化采集和后处理并经 CT 校正肾脏深度得到的 GFR_优 与 eGFR 有较好的一致性。

讨 论

肾动态显像测定 GFR 是一种简便、快速、无创评估分肾功能的方法, 具有不可替代的优势, 其理论基础是 Gates 法。根据 Gates 法计算原理, 影响 GFR

准确性的 2 个比较重要的因素为衰减距离(肾脏深度)和组织衰减系数 μ 。正常肾脏是腹膜后位器官, Gates 法也是基于后位图像分析计算的;若肾脏位置变化, 如移植肾、马蹄肾等, γ 射线衰减距离和在组织中的衰减系数也会改变。 γ 射线在软组织中的衰减系数 μ 为 0.153 cm^{-1} , 肾脏深度每变化 1 cm, GFR 会产生 $14\% \sim 16\%$ 的偏差^[9]。目前, 临床应用的图像后处理软件多沿用 Tonnesen 公式推算肾脏深度, 此公式简便, 但因其以欧美人群为样本, 样本量小, 且没有儿童人群纳入, 忽略了年龄对肾脏深度的影响及个体性差异;此外, 该公式由坐位超声测量推导而出, 存在误差, 且仅局限于肾脏位置正常无变异的后位肾脏深度的估算^[2,5,10]。

目前普遍认为仰卧位 CT 平扫测量肾脏深度值更为精确^[5,11], 也有研究以双血浆法为“金标准”, 运用 Li 法进行肾脏深度校正从而提高 GFR 的准确性^[2,5]。近年来随着 SPECT/CT 的普及, 应用 CT 测量肾脏深度校正 GFR 的研究逐渐增多。杨仪等^[12]比较了 CT 实测法、Tonnesen 公式、SPECT 侧位像测量肾脏深度及 GFR 的差异, 结果表明 Tonnesen 公式低估了肾脏深度, 而 SPECT 侧位像则会高估;研究还探讨了 CT 直接测量肾脏深度代替传统 Tonnesen 公式的可行性。陈立^[13]以双血浆法为“金标准”, 分别评价 CT 实测肾脏深度法和 Tonnesen 公式与其的差异性, 表明 CT 实测法所得 GFR 与双血浆法的差异小。刘岩等^[14]利用 CT 校正肾脏深度, 提高了 Gates 法测量亲属活体供肾 GFR 的准确性。本研究不同之处在于, 分别对位置形态正常无变异的肾脏和移植肾、异位肾等非正常肾区的肾脏病例展开研究, 在正常肾区组排除影响肾脏深度的外界干扰因素, 论证 CT 实测肾脏深度的可行性;并在非正常肾区组结合临床应用的实际问题, 阐述了优化采集及后处理方法在 Gates 法中的必要性。

因肾积水、肾萎缩会导致肾脏形态发生改变, 中重度肾积水肾盂、肾盏不同程度的扩张, 肾皮质变薄, 正常结构遭到破坏, 这些因素会影响肾脏深度;而儿童行肾动态显像干扰因素较多且 CT 扫描的接

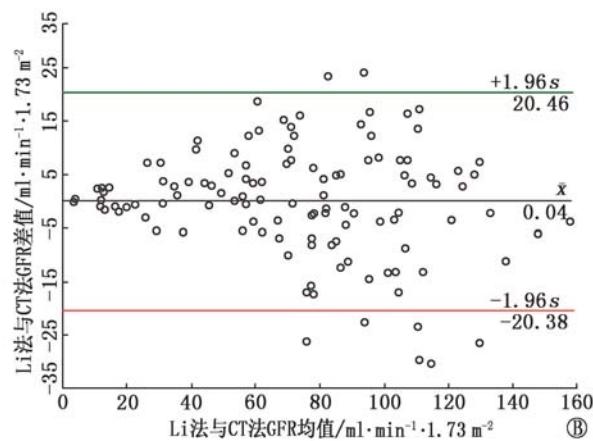
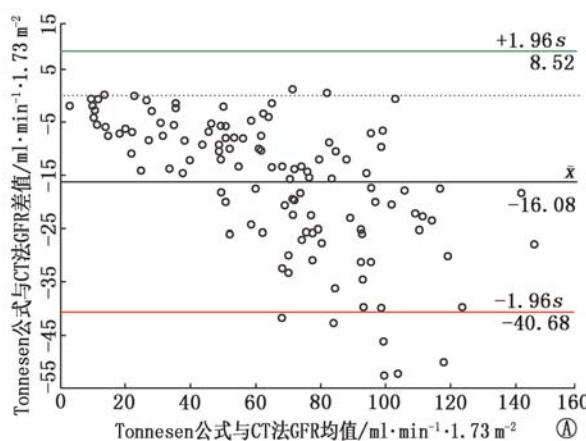


图 3 118 例正常肾区组患者采用 Tonnesen 公式(A)和李乾公式(简称 Li 法;B)所得肾小球过滤率(GFR)与 CT 实测法所得 GFR 的 Bland-Altman 分析图

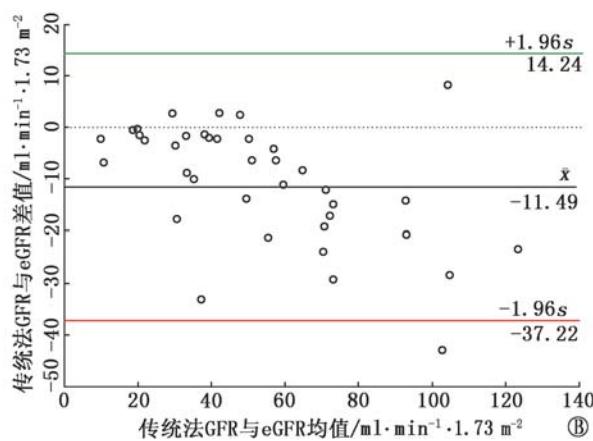
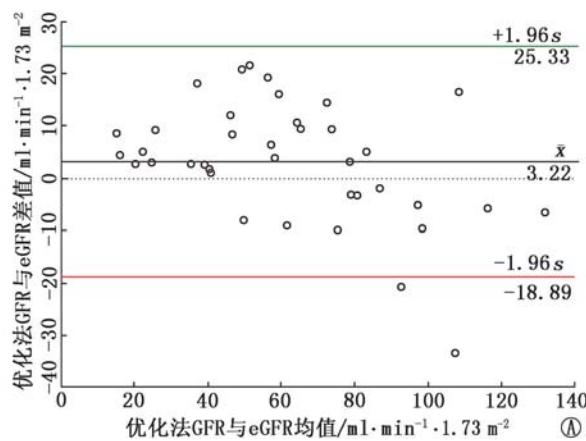


图 4 39 例非正常肾区组患者采用优化的后处理方法(A)和传统后处理方法(B)所得 GFR 与基于酶法测定血清肌酐(Scr)估算 GFR(eGFR)的 Bland-Altman 分析图

受度差。因此本研究的正常肾区组排除了肾积水、肾萎缩、儿童病例等因素,分析了 118 例肾脏位置正常的成年患者,比较 CT 测量肾脏深度与 Tonnesen 公式、Li 法估算肾脏深度及相应 GFR 的差异,结果表明 Tonnesen 公式与 CT 实测法所得肾脏深度差异有统计学意义($P<0.01$),两者的偏差随着 CT 测量肾脏深度的增加而增大(r 值:0.847 和 0.834,均 $P<0.01$);Tonnesen 公式相应的 GFR 与 CT 实测法的差异有统计学意义(均 $P<0.01$)。Li 法与 CT 实测肾脏深度差异无统计学意义(均 $P>0.05$),对应的 GFR 有较好的相关性及一致性。因此 CT 直接测量法可以提高肾脏深度的精确性,相应的 GFR 准确性也会提高。现今多数核医学单位都配备有 SPECT/CT,肾脏深度校正有一定的可行性。若患者既未行 CT 检查而核医学科室仅配备 SPECT,则可借鉴 Li 法估算肾脏深度。

本研究对非正常肾区组 19 例异体移植肾、11 例马蹄肾及 9 例异位肾优化了采集方式和后处理方法。移植肾、马蹄肾及异位的一侧肾采用前位图像后处理,健侧肾采用后位图像处理,并用 CT 测量校

正肾脏深度,优化得到的 GFR 与传统处理方法所得的 GFR 差异有统计学意义($P=0.025$),优化采集及后处理方法所得的 GFR 与 eGFR 有较好的相关性和一致性。结果表明移植肾采用双探头前后位同时采集,可在后位图像评估原肾功能的基础上,采用 CT 测量前位移植肾深度,前位图像后处理可以提高 GFR 的准确性。

马蹄肾和异位肾大多是在体检时发现^[15-16]。马蹄肾大多因双肾下极在脊柱前方第 3~5 腰椎水平相连形成峡部^[17],传统的采集及后处理方法忽视了脊柱对 γ 射线的衰减遮挡和因肾脏位置轻微变动而引起的深度改变,且会因后位图像上双肾下极显示不清造成勾画 ROI 困难,因此马蹄肾用传统的采集及后处理方法会明显低估 GFR^[18];正确的方法应该是前位采集及后处理并 CT 测量前位肾脏深度,避免因脊柱衰减系数的不同、图像显影不清晰及肾脏深度不准确造成 GFR 结果偏差。异位肾的异位侧肾和健侧肾可以分别行深度校正及前后位图像分开处理。Li 等^[19]对于盆腔异位肾研究表明,采取前位图像处理方法测量的 GFR 比后位图像处理获

得的 GFR 可以更准确地反映肾功能。

由上可见,正确的图像采集方法是获得可靠结果的前提。特殊情况,如移植肾、异位肾、马蹄肾、腹部包块、腹膜后占位肾脏受挤压移位、甚至单纯的肥胖等,都会使肾脏位置发生改变。遇到后位脊柱或骨盆遮挡衰减问题时,检查者需要灵活变通,寻求优化的采集方案及后处理方法。移植肾因靠近膀胱,采集前应叮嘱患者排空尿液,采集范围要合适,勾画 ROI 避免膀胱及髂血管的干扰。腹部包块、腹膜后占位等因检查前不清楚肾脏的具体位置,可以采用前后位同时采集,且前位探头尽可能贴近身体,后处理时结合 CT 根据需要选取正确体位的图像,可避免重复检查。

本研究不足之处在于:(1)没有将双血浆法作为“金标准”来评价 GFR 的准确性;(2)非正常肾区组 39 例样本量小,且未细分组别,纳入的移植肾、马蹄肾和异位肾患者数据差异性大;(3)不同后处理方法所得的 GFR 是与 eGFR 作比较,考虑到目前检验实验室出具的肾功能报告中经常会附有以 Scr 推导的 CKD-EPI_{Scr} 公式估算的 GFR 值^[20-21],临床医师看重肾动态显像结果的同时也会综合考虑查血指标,这对肾动态显像结果的准确性提出了更高的要求和挑战,特别是当 GFR 结果与临床评估不相符时。但无论何种估算和测量 GFR 的方法仍受到较多因素的影响,其精确性存在不确定性^[22-23]。Yang 等^[24]对 CKD-EPI_{Scr} 公式进行了修正以期更适用于中国人群 GFR 的估算。因此,肾动态显像更需要规范化、精细化,以准确性和可靠性赢得临床医师的信赖,充分发挥其无创评估分肾功能的优势。

总之,在肾动态显像的临床运用中,Tonnesen 公式低估了肾脏深度且存在一定的局限性,特别对于移植肾、马蹄肾及异位肾等肾脏不在正常肾区的情况,并无特定估算肾脏深度的经验公式,优化采集及后处理方法显得非常必要,SPECT/CT 在显像的同时可以借助 CT 图像进行肾脏深度的校正,从而提高 Gates 法测定 GFR 的准确性和可靠性,扩大肾动态显像的临床应用优势。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 韩萍萍,李玲,刘杰,等.肾脏深度对肾动态显像测定肾小球滤过率的影响[J].中国医疗设备,2017,32(6):66-69. DOI:10.3969/j.issn.1674-1633.2017.06.017.
- Han PP, Li L, Liu J, et al. Effect of kidney depth in glomerular filtration rate measured by kidney dynamic imaging [J]. Chin Med

Dev, 2017, 32(6): 66-69. DOI:10.3969/j.issn.1674-1633.2017.06.017.

- [2] 张旭初,王荣福,李乾.肾脏深度对影像法测定肾小球滤过率的影响[J].标记免疫分析与临床,2010,17(1):30-34. DOI:10.3969/j.issn.1006-1703.2010.01.012.
- Zhang XC, Wang RF, Li Q. Evaluation of the influence of kidney depth in glomerular filtration rate with radionuclide renal scintigraphy [J]. Labeled Immunoassays & Clin Med, 2010, 17(1): 30-34. DOI:10.3969/j.issn.1006-1703.2010.01.012.
- [3] Taylor A, Lewis C, Giacometti A, et al. Improved formulas for the estimation of renal depth in adults [J]. J Nucl Med, 1993, 34(10): 1766-1769.
- [4] 陈曙光,石洪成,胡鹏程. Tonnesen 公式计算肾脏深度的准确性与 BMI 的关系[J].中华核医学与分子影像杂志,2012,32(6):430-433. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2012.06.007.
- Chen SG, Shi HC, Hu PC. Accuracy of the Tonnesen formula and its relationship with body mass index [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2012, 32 (6): 430-433. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2012.06.007.
- [5] 李乾,张春丽,付占立,等.肾动态显像法计算中国人肾脏深度 [J].中国医学影像技术,2007,23(2):288-291. DOI:10.3321/j.issn:1003-3289.2007.02.037.
- Li Q, Zhang CL, Fu ZL, et al. Measuring kidney depth of Chinese people with kidney dynamic imaging [J]. Chin J Med Imaging Technol, 2007, 23 (2): 288-291. DOI: 10.3321/j.issn:1003-3289.2007.02.037.
- [6] Levey AS, Stevens LA, Schmid CH, et al. A new equation to estimate glomerular filtration rate [J]. Ann Intern Med, 2009, 150(9): 604-612. DOI:10.7326/0003-4819-150-9-200905050-00006.
- [7] Inker LA, Schmid CH, Tighiouart H, et al. Estimating glomerular filtration rate from serum creatinine and cystatin C [J]. N Engl J Med, 2012, 367(1): 20-29. DOI:10.1056/NEJMoa1114248.
- [8] Earley A, Miskulin D, Lamb EJ, et al. Estimating equations for glomerular filtration rate in the era of creatinine standardization: a systematic review [J]. Ann Intern Med, 2012, 156(11): 785-795, W-270, W-271, W-272, W-273, W-274, W-275, W-276, W-277, W-278. DOI:10.7326/0003-4819-156-6-201203200-00391.
- [9] Awdeh M, Kouris K, Hassan IM, et al. Factors affecting the Gates' measurement of glomerular filtration rate [J]. Am J Physiol Imaging, 1990, 5(1): 36-41.
- [10] Gordon I, Piepsz A, Sixt R, et al. Guidelines for standard and diuretic renogram in children [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2011, 38(6): 1175-1188. DOI:10.1007/s00259-011-1811-3.
- [11] Lopez-Gaitan J, Ebert MA, Robins P, et al. Radiotherapy of abdomen with precise renal assessment with SPECT/CT imaging (RAPASI): design and methodology of a prospective trial to improve the understanding of kidney radiation dose response [J]. BMC Cancer, 2013, 13: 381. DOI:10.1186/1471-2407-13-381.
- [12] 杨仪,刘增礼,唐军,等. SPECT/CT 直接测量肾脏深度在肾小球滤过率测定中的应用[J].中华核医学与分子影像学杂志,2012,32(4):255-258. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2012.04.004.
- Yang Y, Liu ZL, Tang J, et al. Application of renal depth by CT for the measurement of GFR using SPECT/CT [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2012, 32(4): 255-258. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2012.04.004.
- [13] 陈立. SEPCT/CT 肾动态显像: CT 肾脏深度校正与 Tonnesen 算法肾动态显像比较[D].泸州:西南医科大学, 2018.

- Chen L. SPECT/CT renal dynamic imaging: comparing the GFR of CT renal depth correction with the Tonnesen formula [D]. Luzhou: Southwest Medical University, 2018.
- [14] 刘岩,赵傲梅,鲁雪妮,等. CT 测量肾脏深度优化 Gates 法测定亲属活体供肾肾小球滤过率[J]. 中华器官移植杂志, 2019, 40(4): 195-199. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1785.2019.04.002.
- Liu Y, Zhao AM, Lu XN, et al. Renal depth measured by CT optimize the glomerular filtration rate using the Gates method in living donor kidney transplantation [J]. Chin J Organ Transplant, 2019, 40(4): 195-199. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1785.2019.04.002.
- [15] Taylor J, Prasad K, Rohrer R. Dynamic renal ptosis demonstrated on ¹⁸F-FDG PET/CT [J]. Clin Nucl Med, 2019, 44(4): 303-304. DOI: 10.1097/RLU.0000000000002475.
- [16] Eid S, Iwanaga J, Loukas M, et al. Pelvic kidney:a review of the literature [J]. Cureus, 2018, 10(6): e2775. DOI: 10.7759/cureus.2775.
- [17] Natsis K, Piagkou M, Skotsimara A, et al. Horseshoe kidney: a review of anatomy and pathology [J]. Surg Radiol Anat, 2014, 36(6): 517-526. DOI: 10.1007/s00276-013-1229-7.
- [18] Qi Y, Hu P, Xie Y, et al. Glomerular filtration rate measured by ^{99m}Tc-DTPA renal dynamic imaging is significantly lower than that estimated by the CKD-EPI equation in horseshoe kidney patients [J]. Nephrology (Carlton), 2016, 21(6): 499-505. DOI: 10.1111/nep.12663.
- [19] Li N, Li B, Liang W, et al. Comparison of glomerular filtration rate measured between anterior and posterior image processing using Gates' method in an ectopic pelvic kidney [J]. Nucl Med Commun, 2016, 37(5): 519-524. DOI: 10.1097/MNM.0000000000000473.
- [20] Levey AS, Stevens LA. Estimating GFR using the CKD Epidemiology Collaboration (CKD-EPI) creatinine equation: more accurate GFR estimates, lower CKD prevalence estimates, and better risk predictions [J]. Am J Kidney Dis, 2010, 55(4): 622-627. DOI: 10.1053/j.ajkd.2010.02.337.
- [21] Xie P, Huang JM, Lin HY, et al. CDK-EPI equation may be the most proper formula based on creatinine in determining glomerular filtration rate in Chinese patients with chronic kidney disease [J]. Int Urol Nephrol, 2013, 45(4): 1057-1064. DOI: 10.1007/s11255-012-0325-7.
- [22] 陆汉魁.应用放射性核素方法测量肾小球滤过率及相关技术问题[J].中华检验医学杂志, 2007, 30(11): 1211-1212. DOI: 10.3760/j.issn:1009-9158.2007.11.003.
- Lu HK. Glomerular filtration rate determined by radionuclide method and pitfalls worth notice [J]. Chin J Lab Med, 2007, 30(11): 1211-1212. DOI: 10.3760/j.issn:1009-9158.2007.11.003.
- [23] 马清光,李慧敏,沈丽.血清半胱氨酸蛋白酶抑制剂 C、肌酐评估慢性肾病患者肾小球滤过功能价值的 Meta 分析 [J]. 检验医学, 2012, 27(5): 352-357. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8640.2012.05.006.
- Ma QG, Li HM, Shen L. A meta-analysis on the value of serum cystatin C and creatinine in evaluating glomerular filtration rate in patients with chronic kidney disease [J]. Lab Med, 2012, 27(5): 352-357. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8640.2012.05.006.
- [24] Yang M, Zou Y, Lu T, et al. Revised equations to estimate glomerular filtration rate from serum creatinine and cystatin C in China [J]. Kidney Blood Press Res, 2019, 44(4): 553-564. DOI: 10.1159/000500460.

(收稿日期:2020-03-10)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊对来稿中关于统计学处理的要求

本刊统计学符号按 GB3358-1982《统计学名词及符号》的有关规定,一律采用斜体排印。

关于统计学方法:1. 研究设计:应告知研究设计的名称和主要方法。如调查设计(前瞻性、回顾性还是横断面调查研究),实验设计(自身配对设计、成组设计、交叉设计、析因设计、正交设计等),临床试验设计(属于第几期临床试验,采用了何种盲法措施等);主要应围绕 4 个基本原则(重复、随机、对照、均衡)概要说明,尤其要告知如何控制重要非试验因素的干扰和影响。“随机”应说明采用了哪种具体的随机方法。

2. 资料的表达与描述:用 $\bar{x} \pm s$ 表达近似服从正态分布的定量资料,用 $M(QR)$ 表达呈偏态分布的定量资料;统计表要合理安排纵横标目,将数据的含义表达清楚;所用统计图的类型应与资料性质相匹配,数轴上刻度值的标法符合数学原则;相对数分母不宜小于 20,要注意区分百分率与百分比。

3. 统计学分析方法的选择:定量资料不应盲目套用 t 检验和单因素方差分析;定性资料不应盲目套用 χ^2 检验。回归分析不应盲目套用直线回归分析;对具有重复实验数据检验回归分析资料,不应简单化处理;对于多因素、多指标资料,要在一元分析的基础上,尽可能运用多元统计分析方法。

4. 统计结果的解释和表达:当 $P < 0.05$ (或 $P < 0.01$)时,应说对比组之间的差异具有统计学意义,而不应说对比组之间具有显著性(或非常显著性)差异;应写明所用统计分析方法的具体名称,统计量的具体值。当涉及总体参数(如总体均数、总体率等)时,在给出显著性检验结果的同时,再给出 95% 可信区间。