

## 基于肌酐的 GFR 估算公式在中国亲属活体肾移植受体术后肾功能评价中的效用比较

陶俊<sup>1</sup>, 吴边<sup>1</sup>, 韩志坚<sup>1</sup>, 汪俊<sup>1</sup>, 李永军<sup>2</sup>, 刘绪忠<sup>1</sup>, 鲁佩<sup>1</sup>, 黄正楷<sup>1</sup>, 殷长军<sup>1</sup>, 谭若芸<sup>1\*</sup>, 顾民<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>南京医科大学第一附属医院泌尿外科,<sup>2</sup>核医学科,江苏 南京 210029)

**[摘要]** 目的:评估与比较 5 种以血清肌酐(Scr)为基础的肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR)估算公式在中国亲属活体肾移植受体肾功能评估中的效用。方法:选取 39 例在本院行亲属活体肾移植且肾功能稳定的肾移植受体,以 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 肾功能动态显像技术(ECT)测定的 GFR(reference GFR, rGFR)作为基准,比较 5 种以血清肌酐(Scr)为基础 GFR 估算公式在亲属活体肾移植受体肾功能评估中的偏倚(bias)、精度(precision)和基准试验结果 30%及 50%的精确度(accuracy)。结果:以日本肾脏病协会-慢性肾脏病组织公式(Japanese Society of Nephrology-Chronic Kidney Disease Initiatives, JSN-CKDI)具有最高的精确度(30%精确度:71.8%),仅有-0.7 ml/(min·1.73m<sup>2</sup>)的偏倚,而精度为 12.0 ml/(min·1.73m<sup>2</sup>)。结论:在中国亲属活体肾移植受体术后长期随访中,以血清肌酐(Scr)为基础的 JSN-CKDI 公式可能是评估及监测移植肾 GFR 的最佳选择。

**[关键词]** 亲属供肾;肾移植受体;肾小球滤过率;估算公式

**[中图分类号]** R692

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2014)12-1661-06

doi:10.7655/NYDXBNS20141208

## Comparison of five creatinine-based glomerular filtration rate estimating equations on renal function evaluation in Chinese living related donor renal transplant recipients

Tao Jun<sup>1</sup>, Wu Bian<sup>1</sup>, Han Zhijian<sup>1</sup>, Wang Jun<sup>1</sup>, Li Yongjun<sup>2</sup>, Liu Xuzhong<sup>1</sup>, Lu Pei<sup>1</sup>, Huang Zhengkai<sup>1</sup>, Yin Changjun<sup>1</sup>, Tan Ruoyun<sup>1\*</sup>, Gu Min<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>Department of Urology, <sup>2</sup>Department of Nuclear Medicine, the First Affiliated Hospital of NJMU, Nanjing 210029, China)

**[Abstract]** **Objective:** The aim of this study was to evaluate 5 creatine (Scr)-based glomerular filtration rate (GFR) estimating equations on renal function evaluation in Chinese living related donor transplantation recipients. **Methods:** We compared 5 Scr-based GFR estimating equations using GFR measurement of <sup>99m</sup>Tc-DTPA as the reference test in 39 stable renal transplantation populations from living related donor in our hospital. Bias, precision, accuracy within 30% and 50% ranges from the reference method and agreements of each test were compared. **Results:** The Scr-based Japanese Society of Nephrology-Chronic Kidney Disease Initiatives (JSN-CKDI) equation had the highest accuracy (71.8% within 30% of the reference) with a bias of only -0.7 ml/(min·1.73m<sup>2</sup>) and a precision of 12.0 ml/(min·1.73m<sup>2</sup>). **Conclusion:** Scr-based JSN-CKDI equation may be the best choice for assessing and monitoring GFR of long-term postoperative Chinese renal transplant recipients.

**[Key words]** living donor; renal transplant recipients; GFR; estimating equations

[Acta Univ Med Nanjing, 2014, 34(12): 1661-1666]

**[基金项目]** 国家自然科学基金青年基金项目(81100532);江苏省“333 高层次人才培养工程”项目(2011, 2013);江苏省“六大人才高峰”资助项目(2010WSN-56, 2011-WS-033);江苏省“科教兴卫”工程医学重点人才培养资助项目(RC2011055);江苏省卫生厅面上项目(H2009907)

\*通信作者 (Corresponding author), E-mail: tanruoyun112@vip.sina.com; lancetgu@aliyun.com

肾移植作为一种优越的肾脏替代治疗方法,已成为终末期肾病患者改善生活质量的福音<sup>[1]</sup>。随着终末期肾病患者进行移植登记的增多和尸体肾源供应的日益短缺,在中国越来越多的患者选择亲属活体供肾作为肾脏来源<sup>[2]</sup>。为了早期发现术后各种原因所致的移植肾损伤,例如急、慢性排异反应和

药物中毒等,定期检查肾功能十分必要。然而,临床上常用的血清肌酐检测并不是早期发现肾脏损伤的敏感指标<sup>[3]</sup>。因此,迫切需要寻找更敏感、简便、可靠的方法来评估移植肾功能。

肾小球滤过率 (glomerular filtration rate, GFR) 是单位时间内肾生成的超滤液量, 主要反映肾小球滤过功能, 是评估肾功能的一项关键指标。人们普遍认为肾脏的菊粉清除率是衡量 GFR 的金标准<sup>[4-6]</sup>。然而, 因其价格昂贵、需要持续静脉输注以及留取标本过程繁琐限制了其在临床实践中的使用。同样地, 尽管目前临床上普遍以 ECT (emission computed tomography) 核素肾显像所得的 GFR 值作为评估肾功能的“金标准”, 但其也存在需要反复采血、难以避免的放射性损伤、费用较高和检测不便等缺点<sup>[7]</sup>。因此, 为方便临床监测肾功能, 学者们开发出许多基于血清肌酐的 GFR 估算公式<sup>[8-12]</sup>。但这些公式大多数都是针对正常人群或慢性肾脏病患者设计的, 而非肾移植受体。此外, 因血清肌酐值易受到一些与 GFR 无关的因素影响, 如种族、年龄、性别、肌肉量、用药、饮食、炎症和机体分解代谢状态等<sup>[11]</sup>; 且血清肌酐的测定方法在各个实验室也并未标准化<sup>[13]</sup>, 故而均可能影响这些估算公式的临床使用价值。

既往有研究评价了一些基于血清肌酐的 GFR 估算公式在不同族群患者移植肾功能评估中的效用<sup>[4-5, 8, 11, 14]</sup>。例如, 有报道指出 IDMS-MDRD (isotope-dilution mass spectrometry traceable-modification of diet in renal disease) 公式是韩国肾移植受者术后肾功能估计的最佳公式<sup>[14]</sup>。然而, 对于这些公式是否适用于中国肾移植受者肾功能的评估, 至今尚未检索到相关报道。因此, 本文以 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 肾功能动态显像技术测定的 GFR 作为基准 (reference GFR, rGFR), 评估了 5 种基于血清肌酐的 GFR 估算公式在南京医科大学第一附属医院 39 例亲属活体肾移植受者术后长期移植肾功能评估中的效用。本研究的结果可能为更好地评估中国肾移植受者的肾功能提供一些有用的线索。

## 1 对象和方法

### 1.1 对象

招募 39 例于 2007 年 5 月~2013 年 8 月在本中心接受亲属活体肾移植的成人受者。所有受者均处于肾功能稳定状态——连续 3 次测得的血肌酐变异值均 < 10%。所有受体空腹血糖均 < 6.1 mmol/L, 尿

蛋白均为阴性, 无低蛋白血症。本研究方案已经本院伦理委员会批准, 所有受者均签署了知情同意书。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 测定 rGFR

rGFR 测定由本院核医学部执行, 具体方法简述如下: 将 <sup>99m</sup>Tc-DTPA “弹丸样” 静脉注射到患者体内, 使用伽玛相机技术 (盖茨法)——Symbia T6 伽马相机 SPECT/CT 扫描仪 (西门子公司, 德国), 测定 <sup>99m</sup>Tc-DTPA 的血浆清除。GFR 已经过标准体表面积 (BSA) 校正, 即 1.73 乘以所述测量值并除以受者的 BSA, 单位为 ml/(min·1.73m<sup>2</sup>)。BSA 使用史蒂文森针对中国人的身高、体重、体表面积公式 [体表面积 (S) = 0.006 1 × 身高 (cm) + 0.012 8 × 体重 (kg) - 0.152 9] 计算。

#### 1.2.2 血清肌酐的测定

血清肌酐由本院检验医学部测定, 采用美国 Beckman Coulter 公司的试剂, 使用 Beckman Coulter 公司的 Olympus AU540 生化分析仪进行测定。在取血样前, 所有受者被要求禁食肉类和保持低蛋白饮食 3 d。血清肌酐使用肌氨酸氧化酶-PAP 法进行测定, 正常成年人肌酐参考范围 (男: 59~104 μmol/L, 女 45~84 μmol/L)。该方法的批内和批间变异系数均 < 6%。

#### 1.2.3 GFR 估算公式

①Cockcroft-Gault 公式<sup>[8]</sup>:

$C_{cr} = (140 - \text{年龄}) \times \text{体重 (kg)} / 72 \times \text{Scr (mg/dl)} \times (0.85, \text{女性})$ 。

②简化 MDRD 公式<sup>[9]</sup>:

$GFR = 186 \times \text{Scr (mg/dl)}^{-1.154} \times \text{年龄}^{-0.203} \times (0.74, \text{女性}) \times (1.21, \text{黑人})$ 。

③中国简化 MDRD 公式<sup>[12]</sup>:

$GFR = 1.233 \times 186 \times \text{Scr (mg/dl)}^{-1.154} \times \text{年龄}^{-0.203} \times (0.742, \text{女性})$ 。

④JSN-CKDI 公式<sup>[10]</sup>:

$GFR = 171 \times \text{Scr (mg/dl)}^{-1.004} \times \text{年龄}^{-0.287} \times (0.782, \text{女性})$ 。

⑤CKD-EPI 公式<sup>[11]</sup>:

$GFR = 141 \times \min [(\text{Scr (mg/dl)} / \kappa, 1)]^{\alpha} \max [(\text{Scr (mg/dl)} / \kappa, 1)]^{-1.209} \times 0.993^{\text{年龄}} \times (1.018, \text{女性}) \times (1.159, \text{黑人})$ 。

$\kappa$ : 女性为 0.7, 男性为 0.9;  $\alpha$ : 女性为 -0.329, 男性为 -0.411; min 为 Scr/κ 或 1 的较小值, max 为 Scr/κ 或 1 的较大值。

### 1.3 统计学方法

采用 Origin 7.5 版软件(OriginLab 公司,美国)进行统计分析。根据它们的定义计算了每个 GFR 估算公式的偏倚、精度和 30%精确度、50%精确度。偏倚被定义为估算 GFR 和 rGFR(<sup>99m</sup>Tc-DTPA 清除率)之间的平均差异。精度被定义为偏倚的标准差(SD)。精确度是指 GFR 估算值在 rGFR 的 30%和 50%以内的比例。Bland-Altman 分析被用于可视化的 GFR 公式估算值与 rGFR 之间的一致性。P ≤ 0.05 认为存在统计学差异。

## 2 结果

### 2.1 肾移植受者临床特征

本研究共招募了本院 39 例亲属活体肾移植受者,我们收集了所有受者的基本临床信息、rGFR 和血清肌酐值。具体临床特征如表 1 所示。受者的平均年龄为 32.7 岁,平均移植后时间为 54.7 个月。rGFR 和血清肌酐均值分别为 44.4 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)和 131.8 μmol/L。所有受者均使用泼尼松、吗替麦考酚酯(mycophenolate mofetil, MMF)和钙调神经磷酸酶抑制剂(calcineurin inhibitor, CNI)三联用药的免疫抑制方案。

### 2.2 GFR 估算公式的偏倚、精度和精确度

以肌酐为基础的 GFR 估算公式的偏倚、精度和精确度详见表 2 和图 1。Cockcroft-Gault 公式、MDRD 公式、中国简化 MDRD 公式和 CKD-EPI 公式均高估 GFR,CKD-EPI 公式高估值最小,为 19.4 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>),而 JSN-CKDI 公式稍低估 GFR,低估值为-0.7 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>),在 5 种公式中偏倚值最小。5 个公式的精度值从小到大依次为 JSN-CKDI 公式 [12.0 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)] <Cockcroft-Gault 公式 [15.3 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)] <CKD-EPI 公式 [15.7 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)] <MDRD 公式 [17.5 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)] <中国简化 MDRD 公式 [18.8 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)],JSN-CKDI 公式表现最佳。5 个公式的 30%精确度和 50%精确度表现基本一致,从

表 1 亲属活体肾移植受者的基本特征

Table 1 Characteristics of renal transplant recipients from living related donor

特性	均值(标准差),中位数(四分位距)或数目(百分比)	范围
年龄(年)	32.7(7.5)	21~53
移植后月份	54.7(49.3)	3.5~76.7
性别[n(%)]		
男	29(74.4)	
女	10(25.6)	
身高(cm)	169.5(8.6)	150~185
体重(kg)	64.5(13.6)	43~100
体表面积(m <sup>2</sup> )	1.7(0.2)	1.3~2.3
rGFR[ml/(min·1.73m <sup>2</sup> )]	44.4(14.6)	18.9~89.1
血清肌酐(μmol/L)	131.8(45.3)	62.3~291.0

高到低依次为 JSN-CKDI 公式>CKD-EPI 公式>Cockcroft-Gault 公式>MDRD 公式>中国简化 MDRD 公式。

### 2.3 GFR 估算公式的相关性分析和 Bland-Altman 分析

估算的 GFR 和 rGFR 的相关性详见表 3 和图 2。全部公式的估算值与 rGFR 值显著相关,Pearson 相关系数为 0.60 左右,P 值均 < 0.01,差异有统计学意义。

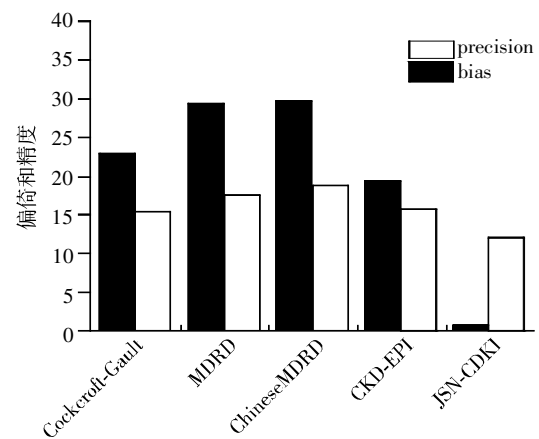


图 1 5 种 GFR 估算公式的偏倚和精度

Figure 1 Bias and precision of 5 GFR estimating equations

表 2 5 种 GFR 估算公式的偏倚、精度和精确度

Table 2 Bias, precision, and accuracy of GFR estimating equations

公式	平均 GFR(方差) [ml/(min·1.73m <sup>2</sup> )]	偏倚[ml/(min·1.73m <sup>2</sup> )]	精度[ml/(min·1.73m <sup>2</sup> )]	30%精确度(%)	50%精确度(%)
参考值 GFR	44.4				
Cockcroft-Gault 公式	67.3(18.7)	22.9	15.3	33.3	43.6
MDRD 公式	73.8(22.9)	29.4	17.5	27.3	33.3
中国简化 MDRD 公式	74.1(23.0)	29.7	18.8	20.5	30.8
JSN-CKDI 公式	43.7(12.4)	-0.7	12.0	71.8	100
CKD-EPI 公式	63.8(21.0)	19.4	15.7	33.3	51.3

Bland-Altman 分析对 rGFR 和估算值 GFR 之间的一致性评估详见表 3 和图 2。5 种公式的可信区间从低到高依次为 JSN-CKDI 公式[47.1 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)]< Cockcroft-Gault 公式 [60.1 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)]<

CKD-EPI 公式 [61.7 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)]<MDRD 公式 [68.6 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)]<中国简化 MDRD 公式 [73.6 ml/(min·1.73 m<sup>2</sup>)], JSN-CKDI 公式表现最佳。

表 3 Bland-Altman 分析和 Pearson 相关性的结果  
Table 3 Results of Bland-Altman analysis and Pearson correlation

公式	Bland-Altman 分析[ml/(min·1.73 <sup>2</sup> )]			Pearson 相关性	
	下限	上限	可信区间	相关系数	P 值
Cockcroft-Gault 公式	-7.1	53.0	60.1	0.60	<0.01
MDRD 公式	-4.9	63.7	68.6	0.65	<0.01
中国简化 MDRD 公式	-7.1	66.5	73.6	0.58	<0.01
JSN-CKDI 公式	-24.2	22.9	47.1	0.61	<0.01
CKD-EPI 公式	-11.4	50.3	61.7	0.67	<0.01

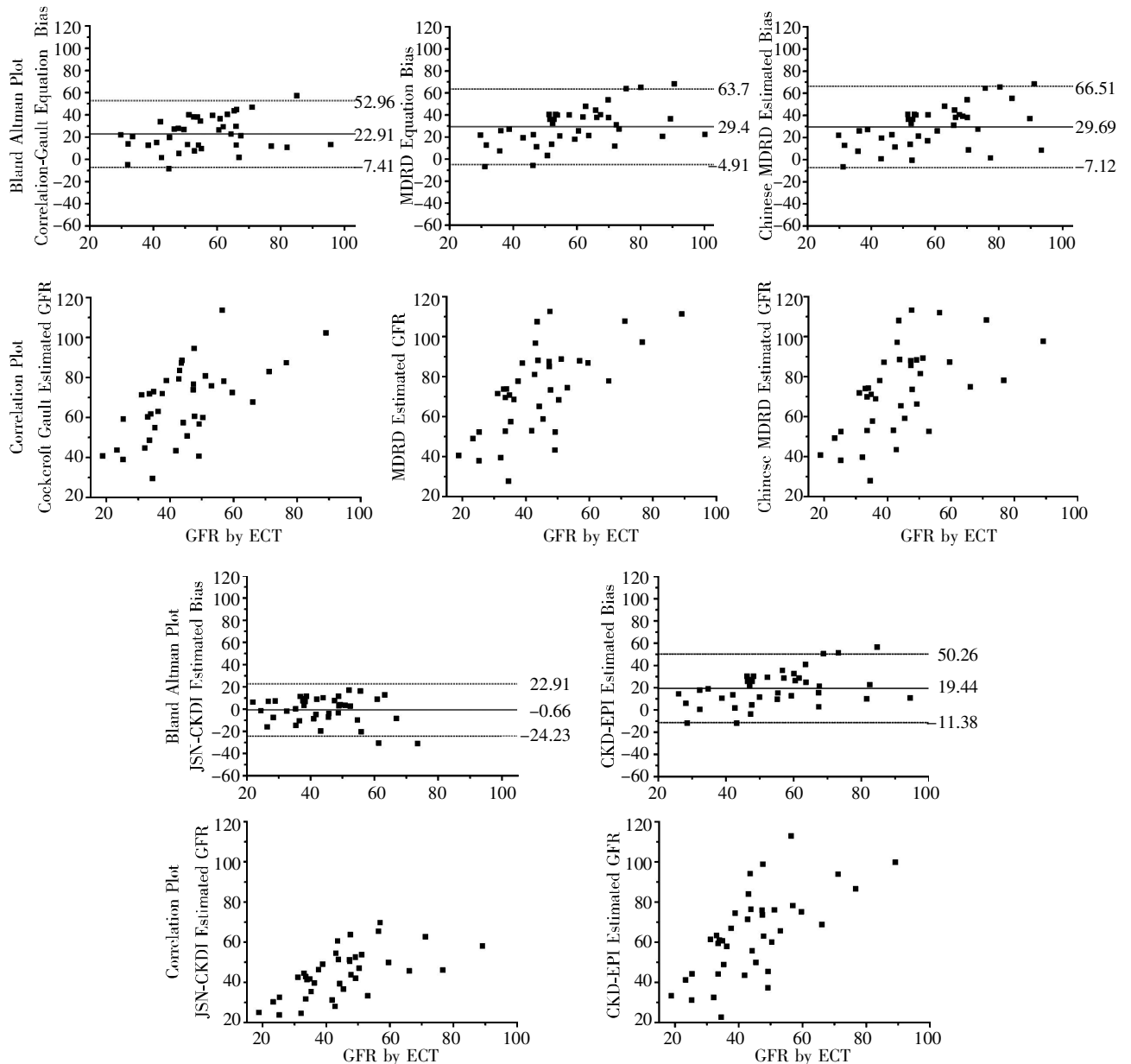


图 2 Bland-Altman 分析和 Pearson 相关性分析的结果  
Figure 2 Plot of Bland-Altman analysis and Pearson correlation

### 3 讨论

GFR 被公认为评价肾功能最为可靠的指标,在监测肾移植术后移植肾功能及移植肾损伤早期诊断方面至关重要。菊粉清除率及核素肾显像等手段虽然能更为准确地反映真实的 GFR,但其检测步骤繁琐、存在有创性操作或放射性危害、不能随时监测以及价格较为昂贵等缺点限制了其在临床上的广泛应用。虽然目前血清肌酐的检测方法相对成熟且操作较为简便,但因其敏感性差、易受各种因素影响,不能及时反映肾功能的变化,故广大学者正致力于寻找更为敏感、精确、简便、可靠且创伤性小的 GFR 评估方法以便更好地反映肾功能变化。近年来,国内外已开发出一系列基于血清肌酐的 GFR 估算公式,但其是否适用于中国肾移植受体仍有待验证。

本研究中,以在本院行亲属活体肾移植且长期随访(平均随访时间 54.7 个月)肾功能稳定的 39 例肾移植受体为研究对象,采用核素肾显像检测所得的 rGFR 值为基准,将 5 种基于肌酐的 GFR 估算公式在此类受体移植肾功能评估中的表现与 rGFR 值进行比较。这是国内首次在长期肾移植受体中进行的研究。本研究结果显示,JSN-CKDI 公式在所有研究的公式中评估综合性能最好,偏倚仅为  $-0.7 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ,精度为  $12.0 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ,并且 30%精确度的比例最高(71.8%)。此外,JSN-CKDI 公式的可信区间为  $47.1 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ,在本研究中所有基于肌酐的公式中最小,这可能与它的低偏倚、高精度和高精确度是一致的。除了 JSN-CKDI 公式外,其他公式均不同程度地高估了实际 GFR 值。CKD-EPI 公式与 Cockcroft-Gault 公式拥有相似的偏倚和精度,估算性能十分接近。出乎意料的是,尽管中国简化 MDRD 公式是针对于中国人群的特定公式,但在所有公式中其整体性能最差,偏倚为  $29.7 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ,精度  $18.8 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ,而 20.5%的值是在 30%参考值 GFR 内的。因此,提示 JSN-CKDI 公式可能更适用于中国肾移植受体移植肾功能的评估。JSN-CKDI 公式是 2007 年从 214 个日本慢性肾脏病的患者数据中,使用多元线性回归模型拟合得到的公式<sup>[10]</sup>,Yeo 等<sup>[14]</sup>在对 102 个韩国肾移植受者的术后早期随访中发现,JSN-CKDI 公式在研究的 20 个公式中拥有最高的精度,为  $10.89 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ,50%精确度为 100%,可信区间为  $43.9 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ,与本研究结果十分类似;

不太理想的是,它明显低估了 GFR 值,偏倚为  $-20.86 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ,而在本研究中其偏倚仅为  $-0.7 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ 。根据本研究的结果,认为中国和日本之间的种族、饮食结构、遗传背景以及代谢状态的相似性也许可以解释这一现象。

Cockcroft-Gault 公式和简化 MDRD 方程是两个最为常用的基于血清肌酐的 GFR 估算公式<sup>[15-16]</sup>。然而,这些公式并没有在本研究中拥有良好表现。即使是针对中国人专门校正过的中国简化 MDRD 公式也并没有提供更好结果,但它在中国的 CKD 患者中得到了广泛认证<sup>[17-19]</sup>。事实上,中国简化 MDRD 公式在本文测试的所有公式中给出了最坏的估计,它明显高估了肾移植受者的实际 GFR 值。同样地,在先前韩国学者的研究中也得出相似的结果,该公式的偏倚为  $24.27 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ <sup>[14]</sup>。本文认为这可能与本研究对象中有很大大一部分受体 GFR 值  $>60 \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$  密切相关。然而有趣的是,本研究发现这些公式在相关亲属活体供肾者肾功能评估中(未发表数据)普遍表现良好。这些结果可能反映了一个事实,即肾移植受者所处的微环境不同于一般人群,除了影响血清肌酐的一般因素(如年龄、种族及体重等)外,很可能还有其他机制参与血清肌酐的排泄。这种现象的可能机制在未来需要进一步研究。

本研究以  $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$  肾功能动态显像技术(ECT)测定的 GFR 作为基准,此方法测得的 GFR 值为  $(44.4 \pm 14.6) \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ,而 Makoto 等<sup>[20]</sup>的一项类似的研究采用公认 GFR 测定金标准——菊粉清除率进行测定,其 GFR 值为  $(43.3 \pm 14.1) \text{ ml}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ ,与本文使用 ECT 技术测定的结果十分接近,表明两种 GFR 测定方法的结果没有明显区别。

本研究的 5 种以血清肌酐为基础的 GFR 估算公式均起源于慢性肾脏病患者的研究,通常应用于慢性肾脏病人群的肾功能评价。国内外的一些学者也尝试用它们来评价正常健康人群、糖尿病人群、老年等非慢性肾脏病人群的肾功能,并得到了一系列结果。故这 5 种公式并不存在其绝对适用范围,本研究也是一次对拓展其适用范围的有意义探索。

总之,本研究结果表明,在 5 种临床常用的 GFR 估算公式中,JSN-CKDI 公式更适用于中国肾移植受体术后肾功能的评估及监测。但由于本研究的样本量相对较小,且受体主要来自中国东部,因此,需要多中心、大样本的前瞻性研究进一步验证

本研究结果。相信在不久的将来能推出适用于中国肾移植受者新的GFR估算公式。

[参考文献]

- [1] Browne OT, Allgar V, Bhandari S. Analysis of factors predicting mortality of new patients commencing renal replacement therapy 10 years of follow-up[J]. *BMC Nephrol*, 2014, 15(1): 20
- [2] Liu G, Li X, Liu T, et al. Gender disparity of living donor renal transplantation in East China[J]. *Clin Transplant*, 2013, 27(1): 98-103
- [3] Kielstein JT, Veldink H, Martens-Lobenhoffer J, et al. SDMA is an early marker of change in GFR after living-related kidney donation[J]. *Nephro Dial Transpl*, 2011, 26(1): 324-328
- [4] Gaspari F, Ferrari S, Stucchi N, et al. Performance of different prediction equations for estimating renal function in Kidney Transplantation[J]. *Am J Transplant*, 2004, 4(11): 1826-1835
- [5] Buron F, Hadj-Aissa A, Dubourg L, et al. Estimating glomerular filtration rate in kidney transplant recipients: performance over time of four creatinine-based formulas[J]. *Transplantation*, 2011, 92(9): 1005-1011
- [6] Lewis R, Kerr N, Van Buren C, et al. Comparative evaluation of urographic contrast media, inulin, and  $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA clearance methods for determination of glomerular filtration rate in clinical transplantation[J]. *Transplantation* 1989, 48(5): 790-796
- [7] Rabito C, Halpern E F, Scott J, et al. Accurate, fast, and convenient measurement of glomerular filtration rate in potential renal transplant donors[J]. *Transplantation*, 2010, 90(5): 510-517
- [8] Cockcroft DW, Gault MH. Prediction of creatinine clearance from serum creatinine[J]. *Nephron*, 1976, 16(1): 31-41
- [9] Levey AS, Bosch JP, Lewis JB, et al. A more accurate method to estimate glomerular filtration rate from serum creatinine; a new prediction equation[J]. *Ann Intern Med*, 1999, 130(6): 461-470
- [10] Imai E, Horio M, Nitta K, et al. Modification of the modification of diet in renal disease(MDRD) study equation for Japan[J]. *Am J Kidney Dis*, 2007, 50(6): 927-937
- [11] 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
- [12] Ma YC, Zuo L, Chen JH, et al. Modified glomerular filtration rate estimating equation for Chinese patients with chronic kidney disease[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2006, 17(10): 2937-2944
- [13] Zahran A, Qureshi M, Shoker A. Comparison between creatinine and cystatin C-based GFR equations in renal transplantation[J]. *Nephrol Dial Transpl*, 2007, 22(9): 2659
- [14] Yeo Y, Han DJ, Moon DH, et al. Suitability of the IDMS-traceable MDRD equation method to estimate GFR in early postoperative renal transplant recipients[J]. *Nephron Clin Pract*, 2010, 114(2): c108-117
- [15] He X, Moore J, Shabir S, et al. Comparison of the predictive performance of eGFR formulae for mortality and graft failure in renal transplant recipients[J]. *Transplantation*, 2009, 87(3): 384-392
- [16] Andrés A, Budde K, Clavien PA, et al. A randomized trial comparing renal function in older kidney transplant patients following delayed versus immediate tacrolimus administration[J]. *Transplantation*, 2009, 88(9): 1101
- [17] Kong X, Ma Y, Chen J, et al. Evaluation of the chronic kidney disease epidemiology collaboration equation for estimating glomerular filtration rate in the Chinese population[J]. *Nephrol Dial Transpl*, 2013, 28(3): 641-651
- [18] 顾红霞, 秦利, 傅红亮, 等. 基于血清肌酐的肾小球滤过率估算值与 $^{99m}\text{Tc}$ -肾小球滤过率的相关性[J]. *上海交通大学学报: 医学版*, 2010, 30(11): 1376-1379
- [19] 谢志斌, 史伟, 刘双信, 等. 五种肾小球滤过率评估方程在良性小动脉肾硬化症中的应用[J]. *岭南心血管病杂志*, 2013, 19(2): 201-204
- [20] Tsujita M, Goto N, Yamamoto T, et al. How to estimate kidney function in kidney transplant recipients with mild to moderate kidney impairment: comparison of estimated glomerular filtration (eGFR) values between creatinine-based GFR equations and cystatin C-based GFR equations for Japanese population[J]. *Clin Exp Nephrol*, 2014, 18(1): 130-134

[收稿日期] 2014-06-19