

· 临床研究 ·

肾小球滤过率估算公式在获得性孤立肾人群中的准确性评价

朱庆堂¹, 孙 晗¹, 程 旭², 顾 民³, 裴小华^{1*}, 赵卫红^{1*}

¹南京医科大学第一附属医院老年肾科, ²核医学科, ³泌尿外科, 江苏 南京 210029

[摘要] 目的:评价肾小球滤过率(glomerular filter rate, GFR)估算公式评估获得性孤立肾(acquired solitary kidney, ASK)人群肾功能的准确性。方法:收集2009年12月—2019年5月在南京医科大学第一附属医院诊治的ASK人群为研究对象,以核素肾动态显像法测定的GFR为参考标准,纳入5个GFR估算公式:MDRD、Xiangya、CKD-EPI_{Scr}、CKD-EPI_{Scys C}和CKD-EPI_{Scr-Scys C}公式,分别以偏倚、离散度和准确度等指标评价公式的准确性。结果:共有78例患者入选,其中肾脏捐献术后(供肾组)35例,因病切肾(非供肾组)43例。供肾组更年轻,肾功能优于非供肾组,其病程也短于非供肾组。所有公式在供肾组中的准确度均高于非供肾组。联合血清肌酐(Scr)和血清胱抑素C(Scys C)的CKD-EPI_{Scr-Scys C}在ASK人群中具有最低的偏倚和最高的准确度,并且在供肾组和非供肾组中仍具有最高的准确度。基于Scys C的CKD-EPI_{Scys C}公式的准确性高于基于Scr的CKD-EPI_{Scr}、MDRD和Xiangya公式。CKD-EPI_{Scys C}低估GFR,而基于Scr的CKD-EPI_{Scr}、MDRD和Xiangya公式高估GFR。结论:在ASK人群中,GFR估算公式的准确性依次是联合指标公式、单纯基于Scys C的公式和单纯基于Scr的公式。相较于因病切肾的人群,估算公式在肾脏捐献术后人群中更加准确。

[关键词] 血清肌酐;血清胱抑素C;肾功能;慢性肾脏病;估算公式

[中图分类号] R692

[文献标志码] A

[文章编号] 1007-4368(2020)07-1021-05

doi: 10.7655/NYDXBNS20200717

孤立肾的发生率为千分之一,中国大约有130万孤立肾人群^[1]。2019年的一项随访研究观察了1 472 519.6人年,在校正混杂因素如吸烟、饮酒、高血压、糖尿病以及肾脏代偿性肥大后,该研究不仅证实孤立肾是慢性肾脏病(chronic kidney disease, CKD)的独立危险因素,并且首次提出获得性孤立肾(acquired solitary kidney, ASK)人群进展至CKD的风险是先天性孤立肾(congenital solitary kidney, CSK)人群的3倍^[2]。因此,长期随访ASK人群的肾功能对于早期发现和干预该人群的CKD至关重要^[3-4]。

肾小球滤过率(glomerular filter rate, GFR)是评价肾功能的重要指标^[5]。菊粉清除率虽是评估GFR的金标准,但该方法过程繁琐,原料难以获取,无法在临床开展。基于^{99m}Tc-DTPA的肾动态显像法是目前临床评估GFR的重要参考,尤其是在肾切除术前

后评估分肾GFR时必不可少,但该检查成本高,设备昂贵,核素不易获取,需要有经验的核医学科专家质控。近10余年,GFR估算公式因其简便、经济、可多次重复等优点,逐渐成为临床评估肾功能的主要方法^[6]。

通过PubMed及Medline数据库检索文献,我们发现仅8项国外研究评价了GFR估算公式在孤立肾人群的准确性^[7-10],尚缺乏在ASK人群的适用性评价证据。因此,本研究将2009年12月—2019年5月在南京医科大学第一附属医院诊治的ASK人群作为研究对象,进行回顾性分析,率先关注GFR估算公式在ASK人群的适用性。

1 对象和方法

1.1 对象

收集2009年12月—2019年5月在南京医科大学第一附属医院诊治的ASK人群为研究对象,将肾脏捐献术后的患者设定为供肾组,因病切肾术后的患者设定为非供肾组。纳入标准:①肾切除术后3个月以上,患者病情稳定;②在行核素肾动态显像法期间,肾功能平稳;③超声多普勒确定单侧肾组织缺失。排除标准:急性肾损伤、严重水肿、骨骼肌萎缩或腹水、肥

[基金项目] 国家自然科学基金(81670677, 81971263);江苏省医学重点学科(ZDXKA2016003);江苏省青年医学重点人才项目(ZDRCA2016021, QNRC2016592);江苏省333工程(BRA2017409);江苏省干部保健课题(BJ17018, BJ16016);江苏省人民医院511工程(JSPH-511A-2018-5)

*通信作者(Corresponding author), E-mail: zhaoweihong-nj@njmu.edu.cn; pxhphoto@njmu.edu.cn

胖、营养不良、截肢、心力衰竭或酮症酸中毒,服用糖皮质激素和接受肾脏替代治疗的患者。本研究经医学伦理委员会批准,所有患者均知情同意。

1.2 方法

血清肌酐(serum creatinine, Scr)的测定采用氧化酶法(南京贝克曼库尔特商贸中国有限公司),变异度控制在6%,参考值范围为0.49~1.54 mg/dL,检测方法可溯源至国际标准SRM967。血清胱抑素(serum cystatin C, Scys C)的检测采用颗粒增强免疫比浊法(北京利德曼生物医药有限公司),变异度控制在8%,参考范围为0.60~1.55 mg/L,经过国际认证的标准品ERM-DA471校准。空腹采样,在奥林巴斯AU5800自动分析仪(奥林巴斯公司,日本)上进行分析。

^{99m}Tc-DTPA 肾动态显像法作为GFR的参考标准(reference GFR, rGFR),在单光子发射计算机断层扫描(西门子公司,德国)完成。受试者在口服300 mL水后,由经验丰富的护士经肘部静脉,“弹丸式”注射显像剂。肾脏代谢^{99m}Tc-DTPA的图像由核医学专家勾画,并用Gates法计算rGFR。

采用国内外指南一致推荐的公式计算估算的GFR(estimated GFR, eGFR):慢性肾脏病流行病学协作组(CKD-EPI)方程CKD-EPI_{Scr}、CKD-EPI_{Scys C}、

CKD-EPI_{Scr-Scys C}, 肾脏病膳食改良(MDRD)公式及2019年中国人群开发的湘雅公式(Xiangya)(表1)。

1.3 统计学方法

使用SPSS 21.0软件与Medcalc19.0软件进行数据的统计分析,计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本t检验。入选公式的准确性评价指标主要是偏倚、离散度和准确度。偏倚定义为eGFR和rGFR之间的差值(eGFR-rGFR)。离散度定义为eGFR的均值±1.96标准差,使用Bland-Altman分析,离散度越小,精度就越高。准确度定义为eGFR在rGFR±30%范围内的比例(P₃₀),使用Cochran Q检验进行比较。P < 0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者的一般基线资料

总共78例患者入选,平均年龄(51.9±14.6)岁。Scr、Scys C和rGFR的平均水平分别为1.1 mg/dL、1.3 mg/L和64.8 mL/(min·1.73 m²)。供肾组35例(44.9%),非供肾组43例(55.1%)。非供肾组的病因分别为肾脏肿瘤30例(38.5%)、尿路梗阻7例(8.8%)和多囊肾6例(7.7%)。供肾组年龄小于非供肾组,肾切除后病程均短于非供肾组。供肾组的

表1 肾小球滤过率估算公式的表达式

公式	性别	Scr(mg/mL)	Scys C(mg/L)	计算方法
MDRD	女	—	—	$186 \times \text{Scr}^{-1.154} \times \text{年龄}^{-0.203} \times 0.742$
	男	—	—	$186 \times \text{Scr}^{-1.154} \times \text{年龄}^{-0.203}$
Xiangya	女	—	—	$2374.78 \times (\text{Scr} \times 88.4)^{-0.54753} \times \text{年龄}^{-0.25011} \times 0.8526126$
	男	—	—	$2374.78 \times (\text{Scr} \times 88.4)^{-0.54753} \times \text{年龄}^{-0.25011}$
CKD-EPI _{Scr}	女	≤0.7	—	$144 \times (\text{Scr}/0.7)^{-0.329} \times (0.993)^{\text{年龄}}$
		>0.7	—	$144 \times (\text{Scr}/0.7)^{-1.209} \times (0.993)^{\text{年龄}}$
	男	≤0.9	—	$141 \times (\text{Scr}/0.9)^{-0.411} \times (0.993)^{\text{年龄}}$
		>0.9	—	$141 \times (\text{Scr}/0.9)^{-1.209} \times (0.993)^{\text{年龄}}$
CKD-EPI _{Scys C}	女	—	≤0.8	$133 \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.499} \times 0.996^{\text{年龄}} \times 0.932$
		—	>0.8	$133 \times (\text{Scys C}/0.8)^{-1.328} \times 0.996^{\text{年龄}} \times 0.932$
	男	—	≤0.8	$133 \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.499} \times 0.996^{\text{年龄}}$
		—	>0.8	$133 \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.499} \times 0.996^{\text{年龄}}$
CKD-EPI _{Scr-Scys C}	女	≤0.7	≤0.8	$130 \times (\text{Scr}/0.7)^{-0.248} \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.375} \times 0.995^{\text{年龄}}$
		—	>0.8	$130 \times (\text{Scr}/0.7)^{-0.248} \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.711} \times 0.995^{\text{年龄}}$
		>0.7	≤0.8	$130 \times (\text{Scr}/0.7)^{-0.601} \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.375} \times 0.995^{\text{年龄}}$
		—	>0.8	$130 \times (\text{Scr}/0.7)^{-0.601} \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.711} \times 0.995^{\text{年龄}}$
	男	≤0.9	≤0.8	$130 \times (\text{Scr}/0.7)^{-0.207} \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.375} \times 0.995^{\text{年龄}}$
		—	>0.8	$130 \times (\text{Scr}/0.7)^{-0.207} \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.711} \times 0.995^{\text{年龄}}$
		>0.9	≤0.8	$130 \times (\text{Scr}/0.7)^{-0.601} \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.375} \times 0.995^{\text{年龄}}$
		—	>0.8	$130 \times (\text{Scr}/0.7)^{-0.601} \times (\text{Scys C}/0.8)^{-0.711} \times 0.995^{\text{年龄}}$

rGFR 高于非供肾组 [(79.4±28.0)mL/(min·1.73 m²) vs. (52.9±14.9)mL/(min·1.73 m²), *P* < 0.001]。供肾组与非供肾组白蛋白水平、低密度脂蛋白胆固醇水平比较差异无统计学意义, 非供肾组中合并症有高血压病 8 例, 2 型糖尿病 3 例(表 2)。

2.2 估算公式在 ASK 患者 GFR 评估中的准确性比较
CKD-EPI_{Scr-Scys C} 公式具有最高的准确度(75.6%)和最低的偏倚-1.8 mL/(min·1.73 m²)。基于 Scr 的 MDRD、Xiangya 和 CKD-EPI_{Scr} 公式的准确度低于基于 Scys C 的 CKD-EPI_{Scys C} 公式, 分别为 60.2%、

表 2 获得性孤立肾患者的一般资料

临床资料	总体(n=78)	供肾组(n=35)	非供肾组(n=43)
男性[n(%)]	43(55.1)	14(32.6)	29(67.4)*
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	51.9 ± 14.6	45.6 ± 10.8	57.1 ± 15.3*
肾切除后时间(年, $\bar{x} \pm s$)	2.2 ± 3.3	1.0 ± 0.8	3.1 ± 4.2*
Scys C(mg/L, $\bar{x} \pm s$)	1.3 ± 0.6	1.1 ± 0.3	1.5 ± 0.6**
Scr(mg/dL, $\bar{x} \pm s$)	1.1 ± 0.6	0.9 ± 0.3	1.3 ± 0.7*
白蛋白(g/L, $\bar{x} \pm s$)	42.2 ± 6.4	41.6 ± 5.3	42.6 ± 7.2
低密度脂蛋白胆固醇(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	2.8 ± 0.8	2.8 ± 0.8	2.8 ± 0.7
rGFR[mL/(min·1.73 m ²), $\bar{x} \pm s$]	64.8 ± 25.4	79.4 ± 28.0	52.9 ± 14.9**
eGFR[mL/(min·1.73 m ²), $\bar{x} \pm s$]			
MDRD	75.5 ± 28.1	90.3 ± 29.6	63.5 ± 20.2**
Xiangya	71.5 ± 14.4	75.4 ± 13.0	65.1 ± 11.7**
CKD-EPI _{Scr}	75.0 ± 28.1	89.3 ± 22.0	63.7 ± 21.2**
CKD-EPI _{Scys C}	63.3 ± 26.0	77.9 ± 24.2	50.8 ± 20.6**
CKD-EPI _{Scr-Scys C}	63.4 ± 26.3	78.5 ± 23.7	50.5 ± 21.1**

与供肾组比较, **P* < 0.05, ***P* < 0.001。

51.2%、60.3%和 73.0%。另外, 基于 Scr 的公式 CKD-EPI_{Scr}、MDRD 和 Xiangya 的偏倚值都为正数, 高估了 GFR, 而 CKD-EPI_{Scys C} 和 CKD-EPI_{Scr-Scys C} 偏倚值为负数, 存在一定程度的低估(表 3)。

2.3 估算公式在供肾组和非供肾组中的准确性比较

在供肾组和非供肾组的分析中, 所有公式在供肾组的准确度均高于非供肾组。另外, CKD-EPI_{Scr-Scys C} 公式在供肾人群中估算 GFR 的偏倚最低 [-0.9 mL/(min·1.73 m²)], 而准确度最高(74.4%)。以我国人群为研究对象开发的 Xiangya 公式并没有在两组人群中表现得比其他公式更准确。CKD-EPI_{Scys C} 在两组人群中优于以 Scr 为基础的其他 3 个公式, 与 CKD-EPI_{Scr-Scys C} 公式准确度的比较差异无统计学意义(表 4)。

3 讨论

孤立肾分为先天性孤立肾(congenital solitary kidney, CSK)和 ASK。ASK 通常指因为疾病、创伤或肾脏捐赠而进行肾切除手术后导致的一侧肾脏缺失^[1]。ASK 在术后通过残存肾单位的代偿, 常可以维持基本的新陈代谢、水电解质和酸碱平衡, 以满足基本生理需要。但超滤过假说认为, 一侧肾脏的切除, 势必导致对侧和残存的肾脏发生血流动力学的改变, 引起肾小球内高压, 继而发生高滤过、高灌注, 肾单位持续缓慢受损, 相继出现微量蛋白尿、高血压、肾小球滤过功能下降等^[11]。

肾脏病预后质量指南(K/DOQI)和改善全球肾脏病预后组织(KDIGO)均建议使用基于 Scr 和/或

表 3 肾小球滤过率公式在获得性孤立肾整体患者中的准确性评价

(n=78)

公式	偏倚[mL/(min·1.73 m ²)]	离散度[mL/(min·1.73 m ²)]	准确度(%)
MDRD	10.7**	81.7	60.2
Xiangya	-6.7*	74.2	51.2*
CKD-EPI _{Scr}	10.4**	76.5	60.3
CKD-EPI _{Scys C}	-1.9	79.5	73.0
CKD-EPI _{Scr-Scys C}	-1.8	75.7	75.6

与 rGFR 比较, **P* < 0.05, ***P* < 0.001; 与 CKD-EPI_{Scr-Scys C} 比较, #*P* < 0.05。

表4 肾小球滤过率公式在供肾组和非供肾组中的准确性评价

公式	供肾组(n=35)			非供肾组(n=43)		
	偏倚 [mL/(min·1.73 m ²)]	离散度 [mL/(min·1.73 m ²)]	准确度 (%)	偏倚 [mL/(min·1.73 m ²)]	离散度 [mL/(min·1.73 m ²)]	准确度 (%)
MDRD	10.9 [*]	90.2	62.9	10.6 [*]	75.2	32.9 ^{##}
Xiangya	-0.1	85.0	66.8	12.2 [*]	56.4	39.5 [#]
CKD-EPI _{Scr}	9.9 [*]	79.2	55.9	10.8	75.2	55.8
CKD-EPI _{Scys C}	-1.5	87.8	69.8	-2.3	72.5	69.8
CKD-EPI _{Scr-Scys C}	-0.9	79.2	74.4	-2.7	73.6	74.4

与rGFR比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.001$;与CKD-EPI_{Scr-Scys C}比较,# $P < 0.05$,## $P < 0.001$ 。

Scys C的GFR估算公式来评估CKD的肾功能^[6]。2017年KDIGO临床实践指南:活体肾移植供者的评估和管理概要^[12]进一步提出,应定期使用合适的方法评估残余肾功能,如菊粉清除率、肌酐清除率、GFR估算公式等。近年,基于Scr和/或Scys C的估算公式由于简便、无创、经济、相对准确等优点,已成为临床常用的评估GFR的重要方法^[13]。但目前国内外仅有8项研究关注了GFR估算公式在孤立肾患者中的应用价值,更无研究报道这些公式在ASK患者中的适用性评价结果^[7-10]。本研究率先以我国ASK人群为研究对象,提出估算公式可用于ASK患者的GFR日常评估。在入选的3类5个公式中,其准确性由高到低依次是CKD-EPI_{Scr-Scys C}、CKD-EPI_{Scys C}、CKD-EPI_{Scr}、Xiangya、MDRD。

可以看出,联合指标公式的准确性优于单纯基于Scys C的公式,而后者又优于单纯基于Scr的公式。我们分析认为患者在肾切除术后,常被诊断为CKD人群,为保护残余肾功能,患者长期低蛋白饮食,导致体内Scr水平偏低,而Scys C不受肌肉质量或蛋白质摄入的影响,因此在低肌肉量、低肉蛋类摄入的人群中较为稳定,从而保证了基于Scys C公式估算的GFR更接近真实值。这也许能同样解释,在偏差方面,Scr公式均为正值,显示高估GFR的现象。因为体内的Scr含量低,估算的GFR便会高于真实值。但是,Scys C仍然是内源性标志物,它仍会受到内源性环境的干扰和肾外因素的影响,比如甲状腺功能、西咪替丁、肿瘤等情况,在特殊情况下,Scys C公式仍不能反映GFR真实值^[14]。既往不同人群、种族、疾病状态的大量研究也证实,由联合Scr和Scys的公式估算的GFR普遍更接近真实值^[15-17]。其中,CKD-EPI_{Scr-Scys C}公式获得一致推荐,这也和本研究的结果一致。

除了肾功能指标的不同会影响估算公式的准确性以外,我们意外发现ASK患者需要在肾切除术

后1年,肾功能才能达到机体的稳态。2013年Chung等^[7]发现,CKD-EPI_{Scr-Scys C}的准确度在肾切除术后的ASK人群中为67.6%,准确度较低。但是2019年Kakuta^[10]提出,CKD-EPI_{Scr-Scys C}的准确度在孤立肾人群中为84.2%,准确度较前一项研究高,与本研究的结果相似。我们在比较3项研究后发现,肾切除术后的恢复时间可能对于公式的准确度有一定影响。虽然纳入人群均为ASK人群,但Chung等的研究是在肾切除后1年内进行,包括Scr与Scys C等血清标志物的采集,而Kakuta等研究与本研究均是在肾切除1年后开展。Mueller等^[18]也证实了这一现象,他们研究发现切除单侧肾脏会导致机体的GFR迅速下降,随后残余肾单位发生高灌注、高滤过,GFR逐渐代偿性升高,最终整体GFR仅轻微降低。并且有研究发现^[1],单侧残余肾的GFR可以代偿性增高至原来的70%。而英国Oxford移植中心的1项随访研究^[3]发现,在肾切除1年后,GFR不再发生较大波动,趋于稳定。因此,我们认为在评估ASK人群GFR时,不管是何种方法,最佳时间应该是术后1年及以上。

ASK的病因主要可分为两大类:肾脏捐献和疾病。既往有研究提出基础疾病可能影响GFR公式的准确性。因此,我们进一步比较分析了ASK病因对GFR估算的影响。在对肾脏捐献和因病切除两组人群进行分组比较后,我们发现所有公式在肾脏捐献人群中的准确度均高于在因病切除人群中的准确度,可能的解释为:①供肾人群相对健康,不存在明显的器质性疾病和用药,因此,对Scr和Scys C的肾外影响因素少,由此估算的GFR更容易接近真实值。②供肾人群肾脏结构正常,核医学科专家在观察和勾画肾脏显像图像时更精确,容易取得真实的GFR^[19];而肿瘤、囊肿、梗阻等疾病均在一定程度上具有占位效应和部分影像衰减,影响肾脏显像是必然的。③肾脏肿瘤患者存在一定的内分泌代谢

异常,有研究提示这些内分泌代谢激素可影响Scr和Scys C的表达和代谢,因此,运用公式估算非供肾人群将出现一定偏差^[20]。

近20年来,国内外学者在不同地区、不同基础疾病、不同人群中进行了大量的GFR估算公式准确性验证研究,但针对孤立肾人群的研究仅8项,样本量很少超过100例次受试者,且迄今无观察ASK人群的研究。我们收集了本院10年ASK诊治资料,78例次入选,针对ASK患者特有的病理生理和疾病状态,分析影响公式准确性的潜在因素,包括肾切除的病因、病程、年龄、肾功能等,发现在ASK人群中,GFR估算公式的准确性依次是联合指标公式、单纯基于Scys C的公式和单纯基于Scr的公式。相较于因病切肾人群,估算公式在肾脏捐献术后人群中更加准确。但由于以上公式的建立并非来源于ASK人群,故准确性有赖于今后更大规模的研究进行完善。

[参考文献]

[1] COCHAT P, FEBVEY O, BACCHETTA J, et al. Towards adulthood with a solitary kidney [J]. *Pediatr Nephrol*, 2019, 34(11):2311-2323

[2] KIM S, CHANG Y, LEE Y R, et al. Solitary kidney and risk of chronic kidney disease [J]. *Eur J Epidemiol*, 2019, 34(9):879-888

[3] 陶 俊, 吴 边, 韩志坚, 等. 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 [J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2014, 34(12):1661-1666

[4] POTTEL H, HOSTE L, YAYO E, et al. Glomerular filtration rate in healthy living potential kidney donors: a meta-analysis supporting the construction of the full age spectrum equation [J]. *Nephron*, 2017, 135(2):105-119

[5] 梁 凯, 万 辛, 瞿 卫, 等. 核医学肾动态显像与血清胱抑素C评价肾积水患者肾功能的应用价值 [J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2016, 36(2):197-200

[6] JJV M M, PARFREY P S, AI E. KDIGO clinical practice guideline for anemia in chronic kidney disease [J]. *Kidney Int Suppl*, 2012, 2(4):279-335

[7] CHUNG B H, YU J H, CHO H J, et al. Comparison of estimating equations for the prediction of glomerular filtration rate in kidney donors before and after kidney donation [J]. *PLoS One*, 2013, 8(4):e60720

[8] GARCIA C, BARRAGAN J, CASTRO I, et al. Correlation of the glomerular filtration rate measured with the use of DTPA-^{99m}Tc in live kidney donors with equations based

on creatinine and cystatin C [J]. *Transplant Proc*, 2018, 50(2):423-427

[9] ISSA N, KUKLA A, JACKSON S, et al. Comparison of cystatin C and creatinine-based equations for GFR estimation after living kidney donation [J]. *Transplantation*, 2014, 98(8):871-877

[10] KAKUTA Y, IMAMURA R, OKUMI M, et al. Assessment of renal function in living kidney donors before and after nephrectomy: A Japanese prospective, observational cohort study [J]. *Int J Urol*, 2019, 26(4):499-505

[11] LIYANAGE L, MUZAALE A, HENDERSON M, et al. The true risk of living kidney donation [J]. *Curr Opin Organ Transplant*, 2019, 24(4):424-428

[12] LENTINE K, KASISKE B L, LEVEY A S, et al. KDIGO clinical practice guideline on the evaluation and care of living kidney donors [J]. *Transplantation*, 2017, 101(8S Suppl 1):S1-S109

[13] YONG Z Z, LI F, PEI X H, et al. A comparison between 2017 FAS and 2012 CKD-EPI equations: a multi-center validation study in Chinese adult population [J]. *Int Urol Nephrol*, 2019, 51(1):139-146

[14] 王 婵, 许守林, 冯雪凤. GFR联合血清肌酐、尿素氮和尿酸评估单侧肾积水的临床意义 [J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2017, 37(8):1055-1057

[15] WANG Y, KATZMARZYK P T, HORSWELL R, et al. Comparison of the heart failure risk stratification performance of the CKD-EPI equation and the MDRD equation for estimated glomerular filtration rate in patients with type 2 diabetes [J]. *Diabet Med*, 2016, 33(5):609-620

[16] SHAFFI K, UHLIG K, PERRONE R D, et al. Performance of creatinine-based GFR estimating equations in solid-organ transplant recipients [J]. *Am J Kidney Dis*, 2014, 63(6):1007-1018

[17] BUCHKREMER F, SEGERER S, BOCK A. Monitoring urine flow to prevent overcorrection of hyponatremia: derivation of a safe upper limit based on the edelman equation [J]. *Am J Kidney Dis*, 2019, 73(1):143-145

[18] MUELLER T F, LUYCKX V A. The natural history of residual renal function in transplant donors [J]. *J Am Soc Nephrol*, 2012, 23(9):1462-1466

[19] 陈 炜, 梁 颖, 耿建华, 等. SPECT肾动态显像方法及其影响因素 [J]. *中国医学装备*, 2019, 16(3):160-163

[20] PORRINI E, RUGGENENTI P, LUIS-LIMA S, et al. Estimated GFR: time for a critical appraisal [J]. *Nat Rev Nephrol*, 2019, 15(3):177-190

[收稿日期] 2020-03-05