

# $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA 肾动态显像对肝移植术前肾功能的评估及术后早期急性肾损伤的预测价值

陆东燕 丁恩慈 王俊起 赵炎 沈婕

300192 天津市第一中心医院核医学科

通信作者:沈婕, Email: tjfch\_nm1126@163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2018.04.005

**【摘要】 目的** 探讨 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -二乙撑三胺五乙酸(DTPA)肾动态显像对肝移植术前肾功能的评估及术后早期急性肾损伤(AKI)的预测价值。**方法** 回顾性研究 2015 年 6 月至 2016 年 6 月间接受原位肝移植术的 40 例终末期肝病患者,其中男 29 例,女 11 例,平均年龄(45±8)岁。患者移植术前 1 周内均进行了肾动态显像,围手术期检测血清肌酐(SCr)、血尿素。根据术后 3 d 有否发生 AKI,将患者分为 AKI 组(15 例)和非 AKI 组(25 例)。对 2 组患者总肾小球滤过率(GFR)、标准化 GFR(NGFR)以及 SCr、血尿素进行两样本 *t* 检验分析,绘制受试者工作特征曲线比较总 GFR、NGFR 预测术后早期 AKI 的灵敏度和特异性;并对术前总 GFR、NGFR 与术前 SCr、血尿素的关系行 Pearson 相关分析。**结果** AKI 组肝移植术前总 GFR、NGFR 分别为(58.6±7.7) ml/min、(57.7±7.5) ml·min<sup>-1</sup>·1.73 m<sup>-2</sup>,均明显低于非 AKI 组的(77.3±12.3) ml/min、(76.8±12.6) ml·min<sup>-1</sup>·1.73 m<sup>-2</sup>,差异有统计学意义(*t* 值:-5.924、-5.981,均 *P*<0.05)。AKI 组术前 SCr、血尿素分别为(93.5±13.0) μmol/L、(8.9±4.0) mmol/L,非 AKI 组分别为(85.8±15.7) μmol/L、(7.0±3.0) mmol/L,两组相比差异均无统计学意义(*t* 值:1.604、1.733,均 *P*>0.05)。总 GFR、NGFR 曲线下面积分别为 0.947、0.944,以总 GFR<60 ml/min、NGFR<60 ml·min<sup>-1</sup>·1.73 m<sup>-2</sup>为分界值预测术后早期 AKI 的灵敏度分别为 9/15、10/15,特异性均为 96.0%(24/25)。肝移植术前总 GFR 与 SCr、血尿素,NGFR 与 SCr、血尿素均呈负相关(*r* 值:-0.555、-0.391、-0.562、-0.390,均 *P*<0.05)。**结论**  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA 肾动态显像能早期发现肝移植患者术前肾功能的潜在损害,总 GFR 与 NGFR 可作为预测术后早期 AKI 的可靠指标。

**【关键词】** 终末期肝病;肝移植;急性肾功能不全;放射性核素显像;99m 锝五乙酸盐

**$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA renal dynamic imaging for detecting renal function before liver transplantation and predicting early acute kidney injury postoperation** Lu Dongyan, Ding Enci, Wang Junqi, Zhao Yan, Shen Jie

Department of Nuclear Medicine, Tianjin First Central Hospital, Tianjin 300192, China

Corresponding author: Shen Jie, Email: tjfch\_nm1126@163.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the value of  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -diethylene triamine pentaacetic acid (DTPA) renal dynamic imaging for detecting renal function before liver transplantation and predicting early acute kidney injury (AKI) postoperation. **Methods** A total of 40 patients (29 males, 11 females, average age (45±8) years) with end-stage liver diseases who underwent orthotopic liver transplantation from June 2015 to June 2016 were selected in this retrospective study. All patients underwent  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA renal dynamic imaging within one week before liver transplantation, the general glomerular filtration rate (GFR) and normalized GFR (NGFR) were calculated. The serum creatinine (SCr) and blood urea were detected during the perioperative period. Patients were divided into AKI group (*n*=15) and non-AKI group (*n*=25) according to whether the patients suffered from AKI 3 d after liver transplantation. The general GFR, NGFR, SCr and blood urea between two groups were compared using two-sample *t* test. The sensitivities and specificities of general GFR and NGFR for predicting AKI were evaluated by receiver operating characteristic (ROC) curve. Correlations between general GFR, NGFR and SCr, blood urea before liver transplantation were investigated by Pearson correlation analysis. **Results** The general GFR, NGFR before operation in AKI group were significantly lower than those in non-AKI group: (58.6±7.7) ml/min vs (77.3±12.3) ml/min, (57.7±7.5) ml·min<sup>-1</sup>·1.73 m<sup>-2</sup> vs (76.8±12.6) ml·min<sup>-1</sup>·1.73 m<sup>-2</sup> (*t* values: -5.924, -5.981, both *P*<0.05). The SCr, blood urea before operation in the 2 group were not significantly different: (93.5±13.0) μmol/L vs (85.8±15.7) μmol/L, (8.9±4.0) mmol/L vs (7.0±3.0) mmol/L (*t* values: 1.604, 1.733, both *P*>0.05). The area under curve

(AUC) of general GFR and NGFR was 0.947 and 0.944, respectively. The early AKI was predicted by general GFR and NGFR under the cut-off  $<60 \text{ ml/min}$  and  $<60 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$  with sensitivities of 9/15, 10/15 and specificities both of 96.0% (24/25). There were negative correlations between the general GFR and SCr, general GFR and blood urea, NGFR and SCr, NGFR and blood urea ( $r$  values:  $-0.555$ ,  $-0.391$ ,  $-0.562$ ,  $-0.390$ , all  $P < 0.05$ ). **Conclusions**  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA renal dynamic imaging is helpful for the early detection of potential injury of the renal function. Both general GFR and NGFR could be the accurate indicators for predicting early AKI following orthotopic liver transplantation.

**【Key words】** End stage liver diseases; Liver transplantation; Acute kidney injury; Radionuclide imaging; Technetium Tc 99m pentetate

肾功能不良是肝移植的常见并发症,尤其是肝移植术后急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)与终末期肾病的发生及病死率密切相关,是影响手术成功的重要因素。肝移植术前血清肌酐(serum creatinine, SCr)升高是术后 AKI 的独立危险因素<sup>[1-4]</sup>,但多项研究<sup>[1-5]</sup>发现,即使术前 SCr 和血尿素正常的患者,肝移植术后早期 AKI 的发生率也高达 47.5%。因此,寻找能够早期发现肾功能异常并可以预测肝移植术后早期 AKI 的方法及指标成为研究热点。本研究探讨肾动态显像在评价肝移植术前肾功能及预测术后早期 AKI 的应用价值,以期为临床提供一种可靠的诊断方法及灵敏、准确的指标,改善患者预后。

## 资料与方法

1.研究对象及分组。本回顾性研究对象为 2015 年 6 月至 2016 年 6 月于本院接受原位肝移植术的 40 例终末期肝病患者,包括肝硬化 25 例、肝癌 10 例、自身免疫性肝病 5 例。其中男 29 例,女 11 例,平均年龄  $(45 \pm 8)$  岁。排除标准包括:(1)移植术前 SCr 异常;(2)术前存在糖尿病、高血压、休克及严重心肺疾病;(3)术前存在原发泌尿系统疾病;(4)再次肝移植。所有患者均采用气管插管全身麻醉,手术方式均为改良背驮式原位肝移植术,术中血流动力稳定,术后无感染,术后抗排斥药物种类相同。

所有患者肝移植术前 1 周内均行肾动态显像,围手术期检测 SCr、血尿素。应用 AKI 网络工作组的诊断标准,以 SCr 升高  $>26.52 \mu\text{mol/L}$  或增加  $>50\%$ ,尿量  $<0.5 \text{ ml}/(\text{kg} \cdot \text{h})$  (时间  $>6 \text{ h}$ ) 为标准诊断 AKI<sup>[1-3]</sup>。根据移植术后 3 d 有否发生 AKI,将患者分为 AKI 组(15 例)和非 AKI 组(25 例)。AKI 组患者年龄为  $(45 \pm 8)$  岁,性别构成为男/女 = 11/4,与非 AKI 组的  $(45 \pm 7)$  岁、男/女 = 18/7 差异均无统计学意义( $t = 0.724$ ,  $\chi^2 = 0.571$ , 均  $P < 0.05$ )。

2.显像方法。采用德国 Siemens 公司 Symbia T2 SPECT 仪, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -二乙撑三胺五乙酸(diethylene triamine pentaacetic acid, DTPA)由天津原子高科同位素医药有限公司提供,放化纯大于 95%。患者检查前

2 d 内未使用碘对比剂及利尿剂,检查当日正常饮食,提前 30 min 饮水 500 ml,检查前排空尿液,测量身高、体质量。将  $111 \sim 185 \text{ MBq}$  (体积  $<1 \text{ ml}$ )  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA 置于距离探头中心表面 30 cm 处,测量 1 min 计数。此后患者取仰卧位,经肘静脉“弹丸”式注射  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA 后即刻行后位肾动态显像。采集条件:低能高分辨准直器,能峰 140 keV,窗宽 20%,矩阵  $64 \times 64$ ,先以 3 s/帧连续采集 1 min,再以 1 min/帧连续采集 20 min。采集结束后,测量注射后注射器的 30 s 计数。显像完成后结合身高、体质量及注射前后注射器计数,采用 Gates 法进行图像处理,利用感兴趣区(region of interest, ROI)技术,在肾功能图像上勾画第 3 分钟双肾和双侧本底 ROI,获得总肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR),并用体表面积( $1.73 \text{ m}^2$ )校正获得标准化 GFR(normalized GFR, NGFR),作为观察指标。

3.统计学处理。采用 IBM SPSS 19.0 软件,符合正态分布的计量数据以  $\bar{x} \pm s$  表示。对 AKI 组与非 AKI 组移植性别构成比较采用  $\chi^2$  检验。对 2 组年龄、术前总 GFR、NGFR 以及 SCr、血尿素进行两样本  $t$  检验。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线比较 GFR、NGFR 预测术后早期 AKI 的灵敏度和特异性。对肝移植术前总 GFR、NGFR 与术前 SCr、血尿素的关系进行 Pearson 相关分析。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结果

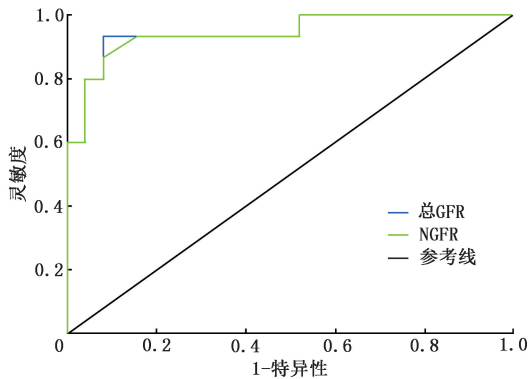
1. AKI 组与非 AKI 组患者肝移植术前肾动态显像总 GFR、NGFR 以及 SCr、血尿素比较见表 1。2 组总 GFR 与 NGFR 差异均有统计学意义,而 SCr、血尿素差异均无统计学意义。

2.肝移植术前患者总 GFR、NGFR 预测术后早期 AKI 的 ROC 曲线见图 1,两者曲线下面积(area under curve, AUC)分别为 0.947、0.944,以总 GFR  $<60 \text{ ml/min}$ 、NGFR  $<60 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$  为分界值,预测术后早期 AKI 的灵敏度分别为 9/15 和 10/15,特异性均为 96.0% (24/25)。

**表 1** AKI 组与非 AKI 组肝移植术前总 GFR、NGFR、SCr 及血尿素比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	总 GFR (ml/min)	NGFR ( $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ )	SCr ( $\mu\text{mol/L}$ )	血尿素 (mmol/L)
AKI 组	15	58.6±7.7	57.7±7.5	93.5±13.0	8.9±4.0
非 AKI 组	25	77.3±12.3	76.8±12.6	85.8±15.7	7.0±3.0
<i>t</i> 值		-5.924	-5.981	1.604	1.733
<i>P</i> 值		<0.05	<0.05	>0.05	>0.05

注:AKI 为急性肾损伤,GFR 为肾小球滤过率,NGFR 为标准化 GFR,SCr 为血清肌酐



**图 1** 总肾小球滤过率(GFR)与标准化 GFR(NGFR)预测 40 例患者术后早期急性肾损伤的受试者工作特征(ROC)曲线图

3. 肝移植术前总 GFR、NGFR 与 SCr、血尿素的相关性分析。全部患者肝移植术前总 GFR、NGFR、SCr、血尿素分别为 ( $70.3 \pm 14.1$ ) ml/min、( $69.6 \pm 14.3$ )  $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ 、( $88.7 \pm 15.1$ )  $\mu\text{mol/L}$ 、( $7.7 \pm 3.4$ ) mmol/L。总 GFR 与 SCr、总 GFR 与血尿素、NGFR 与 SCr、NGFR 与血尿素均呈负相关(*r* 值: -0.555、-0.391、-0.562、-0.390, 均  $P < 0.05$ )。

## 讨 论

肝移植手术创伤大、出血多、时间长,术后早期容易发生 AKI。研究<sup>[1-4]</sup>报道术前 SCr 升高是预测术后 AKI 的独立危险因素,然而 SCr 评估肝移植患者术后 AKI 有偏差及滞后性<sup>[6-8]</sup>,术前 SCr 和血尿素正常的患者中肝移植术后早期 AKI 的发生率仍高达 47.5%<sup>[1-5]</sup>。

GFR 是评价肾脏功能的重要指标,其在疾病的早期就有变化,并且与肾脏损害的严重程度密切相关。<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DTPA SPECT 肾动态显像法测定 GFR 操作简单、安全无创、重复性好,评估肾功能灵敏度好、特异性高,已成为目前临床测定 GFR 最常用的方法。研究<sup>[9-10]</sup>表明,<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DTPA 肾动态显像法测定

GFR 与放射性核素双血浆法测定 GFR 具有良好的—致性,相关系数在 0.9 以上。已有研究<sup>[11-12]</sup>将核素肾动态显像法测定 GFR 作为评价肾功能的重要参考标准。一项对 416 例原位肝移植患者进行的回顾性研究<sup>[13]</sup>发现,手术时估测 GFR(estimated GFR, eGFR)  $< 60 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$  是患者进展至终末期肾病的独立危险因素。Slack 等<sup>[14]</sup>研究发现 eGFR 预测肝硬化患者 AKI 的 ROC 曲线的 AUC 为 0.74,他们认为可以把  $\text{eGFR} < 60 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$  作为预测 AKI 发生的有效指标。

本研究选取对象排除了术前严重的肾功能不全、术中和术后各因素及年龄、性别因素对结果的干扰。笔者在图像处理时选用 Gates 法,该法测定 GFR 较其他方法灵敏、准确,对于肾功能具有良好的评判价值<sup>[15]</sup>。同时,在图像 ROI 勾画时严格按照要求操作,选取给药后第 3 分钟的放射性计数测定 GFR,以尽量减小肾周围和肾内血流的影响,使 GFR 计算更准确<sup>[16]</sup>;选取总 GFR 以及经体表面积校正后的 NGFR 作为观察指标,以保证测定结果的准确性。

本研究中,肝移植术前 SCr、血尿素正常的患者仍有 37.5% (15/40) 发生早期 AKI,而此时肾动态显像 GFR 已经显示出潜在的肾损害,总 GFR、NGFR 分别为 ( $58.6 \pm 7.7$ ) ml/min、( $57.7 \pm 7.5$ )  $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ ,明显低于非 AKI 组的 ( $77.3 \pm 12.3$ ) ml/min、( $76.8 \pm 12.6$ )  $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ 。分析其原因主要为:(1)肌酐是肌酸的代谢产物,经肾小球滤过,部分可经肾小管分泌,GFR 下降至正常的 1/3 时,SCr 才明显上升;(2)一般 GFR 下降至正常的 1/2 时,血尿素才会明显上升;(3)SCr、血尿素检测受肾内外多种因素影响,如机体蛋白质摄入量、体内代谢水平、肾血流等。而且,当 SCr、血尿素升高时肾功能损害程度已较大,此时的肾功能代偿能力非常脆弱,损害稍微加重,肾功能就急剧恶化,并且为不可逆性<sup>[6-8]</sup>。所以,SCr、血尿素难以作为肝移植术前患者肾功能评估的敏感指标。然而,肾动态显像 GFR 的变化明显早于 SCr、血尿素,可以精确、早期发现潜在肾功能受损。本研究 ROC 曲线分析示,总 GFR、NGFR 对应的 AUC 分别为 0.947、0.944,以总 GFR  $< 60 \text{ ml/min}$ 、NGFR  $< 60 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$  为分界值预测术后早期 AKI 的灵敏度分别为 9/15、10/15,特异性均为 96.0%。该结果说明 GFR 与 NGFR 对预测肝移植术后早期 AKI 有着较高的价值,两者结果和作用相似,考虑这可能与本研究病例数较少,且均为终末期肝病、体型相似有关,有待进一步扩

大样本深入研究探讨。本研究结果还显示总 GFR、NGFR 与 SCr、血尿素具有明显的负相关性 ( $P < 0.05$ ), 进一步证明了肾动态显像 GFR 对肾功能评估的可靠性。

英国学者比较了血清粒细胞明胶酶相关脂质运载蛋白 (neutrophil gelatinase-associated lipocalin, NGAL) 和半胱氨酸蛋白酶抑制剂 C (cystatin C) 与 SCr 和 eGFR 预测肝移植术后 AKI 的能力, 结果显示肝移植当天的 SCr、尿 NGAL、血清 NGAL 和 cystatin C 以及 eGFR 均能预测 AKI, 其中血清 NGAL 预测重度 AKI 最灵敏<sup>[17]</sup>。本研究为回顾性研究, 未收集到全部患者尿 NGAL、血清 NGAL 和 cystatin C 相关资料, 所以未能将其纳入与 GFR、NGFR 一起对比研究。

总之, 肝移植术前 SCr、血尿素正常的终末期肝病者仍存在潜在的肾脏损害, 术前肾动态显像能够更准确的评估患者的肾功能, 预测术后早期 AKI 的发生, 有利于临床医师早期发现肾损害并采取有效的干预措施, 预防 AKI 的发生, 提高肝移植术后患者的长期生存率。此外, 大样本、包含多项生物学指标的前瞻性深入研究有待进一步开展。

利益冲突 无

### 参 考 文 献

- [1] Karapanagiotou A, Kydona C, Dimitriadis C, et al. Acute kidney injury after orthotopic liver transplantation[J]. *Transplant Proc*, 2012, 44(9): 2727-2729. DOI:10.1016/j.transproceed.2012.09.096.
- [2] Narciso RC, Ferraz LR, Mies S, et al. Impact of acute kidney injury exposure period among liver transplantation patients[J]. *BMC Nephrol*, 2013, 14: 43. DOI:10.1186/1471-2369-14-43.
- [3] Romano TG, Schmidbauer I, Silva FM, et al. Role of MELD score and serum creatinine as prognostic tools for the development of acute kidney injury after liver transplantation[J]. *PLoS One*, 2013, 8(5): e64089. DOI:10.1371/journal.pone.0064089.
- [4] Douthitt L, Bezinover D, Uemura T, et al. Perioperative use of continuous renal replacement therapy for orthotopic liver transplantation[J]. *Transplant Proc*, 2012, 44(5): 1314-1317. DOI:10.1016/j.transproceed.2012.01.142.
- [5] 李晓芸, 罗刚健, 黎尚荣, 等. 术前血肌酐和尿素氮正常患者肝移植早期急性肾损伤的发生与生存分析[J]. *中山大学学报: 医学科学版*, 2013, 34(3): 397-401.  
Li XY, Luo GJ, Li SR, et al. Occurrence and survival analysis of acute kidney injury in patients with normal BUN and SCr in the early post-liver transplantation period[J]. *J Sun Yat-sen Univ (Med Sci)*, 2013, 34(3): 397-401.
- [6] Gupta S, Chawla Y, Kaur J, et al. Indocyanine green clearance test (using spectrophotometry) and its correlation with model for end stage liver disease (MELD) score in Indian patients with cirrhosis of liver[J]. *Trop Gastroenterol*, 2012, 33(2): 129-134.
- [7] Levitsky J, Baker TB, Jie C, et al. Plasma protein biomarkers enhance the clinical prediction of kidney injury recovery in patients undergoing liver transplantation[J]. *Hepatology*, 2014, 60(6): 2017-2026. DOI:10.1002/hep.27346.
- [8] Teneva BH. Pathogenesis and assessment of renal function in patients with liver cirrhosis[J]. *Folia Med (Plovdiv)*, 2012, 54(4): 5-13. DOI:10.2478/v10153-011-0100-z.
- [9] Ma YC, Zuo L, Zhang CL, et al. Comparison of <sup>99m</sup>Tc-DTPA renal dynamic imaging with modified MDRD equation for glomerular filtration rate estimation in Chinese patients in different stages of chronic kidney disease[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2007, 22(2): 417-423. DOI:10.1093/ndt/gfl603.
- [10] 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. DOI:10.1007/s11255-008-9446-4.
- [11] Mazza A, Montemurro D, Piccoli A, et al. Comparison of methods for determination of glomerular filtration rate in hypertensive subjects with normal serum creatinine[J]. *Blood Press*, 2010, 19(5): 278-286. DOI:10.3109/08037051003718473.
- [12] 张旭初, 王荣福, 张春丽, 等. 放射性核素肾动态显像测定肾移植供体肾小球滤过率[J]. *中国医学影像技术*, 2011, 27(1): 162-166.  
Zhang XC, Wang RF, Zhang CL, et al. Evaluation of radionuclide renal dynamic imaging in determinations of glomerular filtration rate in kidney donors[J]. *Chin J Med Imaging Technol*, 2011, 27(1): 162-166.
- [13] Longenecker JC, Estrella MM, Segev DL, et al. Patterns of kidney function before and after orthotopic liver transplant: associations with length of hospital stay, progression to end-stage renal disease, and mortality[J]. *Transplantation*, 2015, 99(12): 2556-2564. DOI:10.1097/TP.0000000000000767.
- [14] Slack AJ, McPhail MJ, Ostermann M, et al. Predicting the development of acute kidney injury in liver cirrhosis—an analysis of glomerular filtration rate, proteinuria and kidney injury biomarkers[J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2013, 37(10): 989-997. DOI:10.1111/apt.12299.
- [15] 胡鹏程, 石洪成, 顾宇参, 等. Gates 法测定肾小球滤过率的精确性及与病理对照分析[J]. *中华核医学杂志*, 2011, 31(2): 134-137. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9780.2011.02.015.  
Hu PC, Shi HC, Gu YS, et al. The precision of glomerular filtration rate determined by Gates method and compared with the results from renal pathological changes[J]. *Chin J Nucl Med*, 2011, 31(2): 134-137. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9780.2011.02.015.
- [16] 袁杰, 张光明, 刘从进, 等. Gates 法测定 2 型糖尿病肾病患者肾小球滤过率[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2013, 33(5): 355-357. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2013.05.010.  
Yuan J, Zhang GM, Liu CJ, et al. Evaluation of <sup>99m</sup>Tc-DTPA glomerular filtration rate by the Gates method in patients with type 2 diabetes[J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2013, 33(5): 355-357. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2013.05.010.
- [17] Portal AJ, McPhail MJ, Bruce M, et al. Neutrophil gelatinase-associated lipocalin predicts acute kidney injury in patients undergoing liver transplantation[J]. *Liver Transpl*, 2010, 16(11): 1257-1266. DOI:10.1002/lt.22158.

(收稿日期: 2017-10-16)