

• 移植影像学专题 •

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

刘岩¹ 赵傲梅¹ 鲁雪妮¹ 王岐¹ 杨路路¹ 张月敏¹ 杨爱民¹ 田普训² 薛建军¹

¹西安交通大学医学院第一附属医院核医学科 710061; ²西安交通大学医学院第一附属医院肾脏病医院肾移植科 710061

通信作者: 薛建军, Email: xuejianjun@mail. xjtu. edu. cn

【摘要】 **目的** 探讨 CT 测量肾脏深度在 Gates 法测定亲属活体供肾的肾小球滤过率(GFR)中的临床意义。**方法** CT 测量 167 例亲属活体肾移植供者肾脏深度,其中 137 例行^{99m}Tc-DTPA 肾动态显像,应用 Gates 法测量 GFR。以 CT 测量肾脏深度为标准,将 Gates 法常用的 Tønnesen, Taylor 及李乾公式与 CT 测量的肾脏深度进行对比研究;Gates 法测量 GFR 时保持肾脏及本底感兴趣区等不变,分别利用 Tønnesen、Taylor、李乾公式及 CT 测量的肾脏深度计算 GFR,将 4 种方法进行对比研究。**结果** CT 测量、Tønnesen、Taylor 和李乾公式估算的左侧肾脏深度分别为:(6.82±0.96)cm、(5.67±0.58)cm、(6.43±0.77)cm 和(7.03±0.76)cm,右侧肾脏深度分别为:(7.02±1.00)cm、(5.71±0.59)cm、(6.81±0.72)cm 和(7.06±0.70)cm。4 种方法计算的左侧肾脏 GFR 分别为:(45.44±9.04)ml/min、(37.54±6.34)ml/min、(43.39±7.59)ml/min 和(46.99±8.04)ml/min,右侧肾脏 GFR 分别为:(46.61±9.06)ml/min、(37.37±6.02)ml/min、(44.62±6.94)ml/min 和(46.70±7.30)ml/min。其中 Taylor 和李乾公式估算的左/右侧肾脏深度及 GFR 高于 Tønnesen 公式($P<0.01$);CT 测量的左/右侧肾脏深度及 GFR 高于 Tønnesen 公式及 Taylor 公式($P<0.01$);李乾公式估算的左肾脏深度及 GFR 高于 CT 测量($P<0.01$),右肾的差异没有统计学意义($P>0.05$)。**结论** CT 测量肾脏深度提高了 Gates 法中肾脏深度估算的准确性,进而提高了 GFR 测量的准确性,可以优化亲属活体供肾 GFR 值。

【关键词】 肾移植; 肾小球滤过率; 肾脏深度

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1785.2019.04.002

Renal depth measured by CT optimize the glomerular filtration rate using the Gates method in living donor kidney transplantation

Liu Yan¹, Zhao Aomei¹, Lu Xueni¹, Wang Qi¹, Yang Lulu¹, Zhang Yuemin¹, Yang Aimin¹, Tian Puxun², Xue Jianjun¹

¹Department of Nuclear Medicine, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University School of Medicine, Xi'an 710061, China; ²Department of Kidney Transplantation, Kidney Hospital, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University School of Medicine, Xi'an 710061, China

Corresponding author: Xue Jianjun, Email: xuejianjun@mail. xjtu. edu. cn

【Abstract】 **Objective** To evaluate the significance of kidney depth obtained by computed tomography (CT) in measuring glomerular filtration rate (GFR) by Gates method in living kidney transplant donors.

Methods Individual kidney depth was compared among the estimates of Tønnesen, Taylor and Li Qian formulas and CT measurements in 167 living-related kidney transplant donors respectively. While maintaining the active region of interest of kidney and background unchanged in 137 ^{99m}Tc-DTPA renal dynamic imaging cases, GFR was measured by Gates' method and individual kidney compared among the estimates of Tønnesen, Taylor and Li Qian formulas and CT measurements. **Results** Left/right kidney depth obtained by CT, Tønnesen, Taylor and Li Qian formula was 6.82±0.96/7.02±1.00, 5.67±0.58/5.71±0.59, 6.43±0.77/6.81±0.72 and 7.03±0.76/7.06±0.70 cm; GFR 45.44±9.04/46.61±9.06, 37.54±6.34/37.37±6.02, 43.39±7.59/44.62±6.94 and 46.99±8.04/46.70±7.30 ml/min respectively. Individual kidney depth and GFR calculated by Taylor and Li Qian were higher than those of Tønnesen formula ($P<0.01$). Individual kidney depth and GFR calculated by CT were higher than those of Tønnesen and Taylor formulas ($P<0.01$). Left kidney depth and GFR calculated by Li Qian formula were higher than those of CT measurements ($P<0.01$). And no significant difference existed in right kidney ($P>0.05$). **Conclusions**

Kidney depth measured by CT improves the accuracy of kidney depth estimated by Gates method and optimizes GFR in living donors for renal transplant.

【Key words】 Kidney transplantation; Glomerular filtration rate; Kidney depth
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1785.2019.04.002

肾小球滤过率(glomerular filtration rate,GFR)是指单位时间内经肾小球滤过的超滤液量(ml/min),是反映肾小球滤过功能的重要指标,对肾脏功能的判断等具有重要临床价值,GFR 测量方法有多种,主要分为内源性标记物和外源性标记物两大方法。内源性标记物有以血浆肌酐清除率为代表的 MDRD 公式、简化 MDRD 方程、Cockcroft Gault 方程等,其方法简单易行,但血浆肌酐清除率只是接近 GFR,不能代替 GFR,而且不能评价分侧肾功能及 GFR;外源性标记物以菊粉清除率、 $^{51}\text{Cr-EDTA}$ 、双血浆核素清除率法、 $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$ 等为代表,菊粉清除率和 $^{51}\text{Cr-EDTA}$ 血浆清除率被公认为是评价 GFR 的金指标^[1],但因操作复杂,影响因素较多,限制了其在临床上的应用,双血浆核素清除率法准确性较高,价格便宜,被认为是临床测量 GFR 的金标准^[2],但需多次采血,操作较为烦琐,其与菊粉清除率和 $^{51}\text{Cr-EDTA}$ 一样,可以评价总肾功能,无法评价分肾功能及分肾 GFR; $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$ 肾动态显像测量 GFR 也叫 Gates 分析法,其操作简便易行、安全无创、可重复检查、灵敏度和重复性较好,对于分肾功能的评价及 GFR 值测定具有独特的价值,而且可以同时获得分肾血流及功能状态的动态影像,在评价分肾功能中起着重要的作用,研究表明 $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$ 肾动态显像法测定的 GFR 与放射性核素双血浆法测定的 GFR 具有良好的一致性^[3],Assadi 等^[4]的研究表明 Gates 法测定的 GFR 与 $^{99\text{m}}\text{Tc-DTPA}$ 血浆清除率测定的 GFR 与之间的相关系数为 0.90~0.93。因此中国亲属活体供肾移植临床指南中对于分肾功能的测定,建议进行放射性同位素扫描^[5]。

Gates 法测量 GFR 需要测量左/右侧肾脏的深度,但在 SPECT/CT 出现之前,准确测量患者肾动态显像的肾脏深度有一定难度,因此常用肾脏深度的经验公式估算肾脏深度。Gates 法中常见的肾脏深度估算公式有 Tønnesen 公式^[6]、Taylor 公式^[7]及李乾公式^[8],前两个估算公式分别被 GE 公司和西门子公司 SPECT/CT 仪采用,Tønnesen 公式是用 B 型超声测量患者坐位肾脏深度后拟合的经验公式,Taylor 公式是用 CT 测量患者仰卧位肾脏深度后拟合的经验公式。李乾公式是国内应用较广的肾脏深度估算公式。经验公式估算的肾脏深度与肾脏的真实深度有一定差异,进而导致 GFR 的差异,肾移植中对分肾 GFR 有严格要求,GFR 的差异

可能对供者及受者造成一定影响,研究表明肾脏深度变化 1 cm,GFR 就会产生 16% 的偏差^[9]。为了更好地保证亲属活体肾移植供者的安全,确保肾移植受者获得良好的预后,本研究以健康的亲属活体肾移植供者为研究对象,通过 CT 测量真实的肾脏深度,并与 Tønnesen 公式、Taylor 公式、李乾公式估算的肾脏深度及其测量的 GFR 进行了对比研究,现报告如下。

资料与方法

一、研究对象

收集 2011 年 10 月至 2014 年 11 月西安交通大学医学院第一附属医院行双肾 CT 检查的亲属活体肾移植供者 167 例,男 66 例,女 101 例;年龄(47.3 ± 8.5)岁(22~65 岁);其中 137 例行肾动态显像。所有肾移植供者身体健康,无肾脏疾病与外伤史,无高血压及糖尿病,术前均行心电图、血压、血常规、尿常规、肝肾功能、血糖、肝肾超声及供受者组织配型等常规术前检查,检查结果均正常且符合供肾条件。检查前均签署知情同意书,并经西安交通大学医学院第一附属医院伦理委员会批准。

二、仪器与方法

1. CT 扫描方法:供者行 CT 扫描,采取仰卧位,扫描范围从肝脏顶部至髂棘水平,扫描过程中受检者屏住呼吸。应用 Infinia Hawkeye-4 SPECT/CT(GE 公司,美国)行 CT 扫描,球管旋转速度 0.4 s/r,层厚 0.5 mm,重组层厚 1 mm,视野 280~300 mm,管电压 120~135 kV,管电流 200 mA。

2. CT 测量肾脏深度:取每侧肾脏肾门大血管层面,测量每侧肾脏前后表面到后背体表皮肤的垂直距离,取两者的平均值作为单侧肾脏深度(图 1)^[7]。

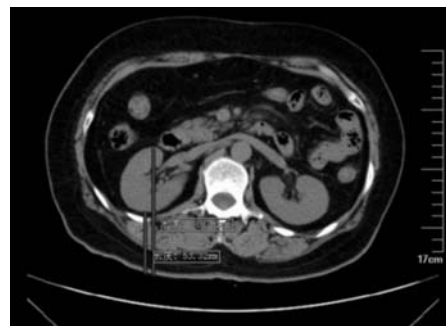


图 1 CT 测量肾脏深度的方法,取肾脏前后表面到后背体表皮肤的垂直距离的平均值

3. ^{99m}Tc-DTPA 肾动态显像:采用 Infinia Hawkeye-4 SPECT/CT(GE 公司,美国)行肾动态显像,低能通用型准直器,能峰 140 KeV,窗宽 ± 20%,显像前 30 min 饮水 500 ml,排尿,记录身高和体重。肾动态显像采取仰卧位,显像前、后测量满针、空针放射性计数,根据 SPECT/CT 工作站内置软件自动处理肾动态图像。

4. 肾脏深度估算方法及 GFR 测量:对同一研究对象分别用 Tønnesen 公式、Taylor 公式估算肾脏深度。^{99m}Tc-DTPA 肾动态显像处理图像上保持左/右侧肾脏及本底感兴趣区不变,肾脏深度分别采用 CT 测量的真实肾脏深度、Tønnesen 公式、Taylor 公式及李乾公式估算的肾脏深度,根据 SPECT/CT 内置软件自动计算各自对应的左/右侧肾脏 GFR 值。

三、统计学处理

采用 SPSS 18.0 软件,结果用 Mean ± SD 表示,t 检验分析比较不同公式所得左/右侧肾脏深度及相应 GFR, P < 0.05 为差异有统计学意义。

结 果

一、四种方法测定的肾脏深度的比较

167 例肾移植供者 CT 测量、Tønnesen 公式、Taylor 公式及李乾公式估算的左/右侧肾脏深度见表 1。结果显示 CT 测量与 Tønnesen 公式、Taylor 公式估算的左/右侧肾脏深度差异有统计学意义(左侧/右侧 t 值分别为:19.829/21.624, 6.475/3.323, P < 0.01),与李乾公式估算的左侧肾脏深度差异有统计学意义,与李乾公式估算的右侧肾脏深度差异没有统计学意义(左侧/右侧 t 值分别为:-3.61/-0.179, 6.475/3.323, P = 0.003/0.858)。

表 1 167 例供肾四种方法测定左/右侧肾脏深度比较(cm, Mean ± SD)

测量方式	左肾深度	右肾深度
CT 测量	6.82 ± 0.96 ^{bc}	7.02 ± 1.00 ^{bc}
Tønnesen 公式	5.67 ± 0.58 ^{ac}	5.71 ± 0.59 ^{ac}
Taylor 公式	6.43 ± 0.77 ^{ab}	6.81 ± 0.72 ^{ab}
李乾公式	7.03 ± 0.76 ^{abc}	7.06 ± 0.70 ^{bc}

注:^a与 CT 测量肾脏深度比较, P < 0.01; ^b与 Tønnesen 公式比较, P < 0.01; ^c与 Taylor 公式比较, P < 0.01

Tønnesen 公式与 Taylor、李乾公式估算的左/右侧肾脏深度差异有统计学意义(左侧/右侧 t 值分别为:-35.089/-62.899, -90.345/-127.00, P < 0.01)。以 CT 测量为标准, Tønnesen 公式平均低估左/右侧

肾脏深度约 20.28%/22.94%(1.15/1.31cm); Taylor 公式平均低估左/右侧肾脏深度约 6.07%/3.08%(0.39/0.21cm); 而李乾公式则平均高估左侧肾脏深度约 2.99%(0.21cm)。

二、四种方法测定的 GFR 的比较

CT 测量、Tønnesen 公式、Taylor 公式及李乾公式计算的左/右侧肾脏 GFR 见表 2, 结果显示 Tønnesen 及 Taylor 公式与 CT 测量计算的左/右肾 GFR 差异均有统计学意义(左侧/右侧 t 值分别为:15.899/17.741, 3.989/3.786, P < 0.01); 李乾公式计算的左肾 GFR 与 CT 测量差异有统计学意义(t 值为-3.070, P < 0.01), 而右肾 GFR 则未见显著性差异(t 值为-0.179, P > 0.05)。

Tønnesen 公式与 Taylor 公式、李乾公式估算的左/右肾 GFR 差异均有统计学意义(左侧/右侧 t 值分别为:-30.100/-37.253, -46.756/-56.505, P < 0.01)。与 CT 测量肾脏深度计算的 GFR 比较, Tønnesen 公式低估左/右肾脏 GFR 约 21.04%/24.73%, Taylor 公式低估左/右肾脏约 4.72%/4.46%, 而李乾公式高估左侧肾脏 GFR 约 3.29%。

表 2 137 例供肾四种方法测定左/右侧肾脏 GFR 的比较(ml/min, Mean ± SD)

测量方式	左肾 GFR	右肾 GFR
CT 测量	45.44 ± 9.04 ^{bc}	46.61 ± 9.06 ^{bc}
Tønnesen 公式	37.54 ± 6.34 ^{ac}	37.37 ± 6.02 ^{ac}
Taylor 公式	43.39 ± 7.59 ^{ab}	44.62 ± 6.94 ^{ab}
李乾公式	46.99 ± 8.04 ^{abc}	46.70 ± 7.30 ^{bc}

注:a 与 CT 测量比较, P < 0.01; b 与 Tønnesen 公式比较, P < 0.01; c 与 Taylor 公式比较, P < 0.01

讨 论

1982 年至 1984 年 Gates 在 ^{99m}Tc-DTPA 肾动态显像的基础上建立了 GFR 测定法—Gates 分析法^[10-12], 此方法通过 γ 相机放射性同位素扫描来获得肾脏摄取 ^{99m}Tc-DTPA 的量来推算 GFR, 操作简单、灵敏、安全无创、重复性好, 不必采血和留尿, 短时间内即可获得总肾及分肾的 GFR, 成为测量分肾 GFR 的唯一方法, 在临床得到广泛应用。Gates 法测量 GFR 的准确性主要与注射人体内的 ^{99m}Tc-DTPA 净计数、肾脏和本底的感兴趣区及肾脏深度有关, 前两个因素都可以通过规范化的操作来减少或避免, 故肾脏深度是 Gates 法测量 GFR 的主要影响因素。在 SPECT/CT 出现之前的 γ 相机时代, 准确测量患者 ^{99m}Tc-DTPA 肾动态显像的左/右侧肾脏深度有一定难度, 因此 Gates 公式中经常是用含有

年龄 (age, A)、身高、体重、体重/身高 (weight/height, W/H) 等参数的经验公式来估算肾脏深度, 由于个体差异, 经验公式估算的肾脏深度不可避免地会出现与真实肾脏深度不一致的情况, 从而导致 GFR 测量的不准确。

肾脏深度估算公式有多种, 其中以基于 B 型超声测量而得到的 Tønnesen 经验公式和以基于 CT 测量而得到的 Taylor 经验公式及国内的李乾公式最为典型。Tønnesen 公式是 1974 年 Tønnesen 用 B 型超声测量 55 例患者坐位肾脏深度后拟合的经验公式, 其公式为: 左肾深度 (cm) = $13.2 \times W/H + 0.7$; 右肾深度 (cm) = $13.3 \times W/H + 0.7$ 。Taylor 等^[7]认为 Tønnesen 公式样本量较小, 受试者取坐位从侧位测量, 超声探头位置与肾脏成一定倾斜角度, 另外患者检查时的姿势可能会影响肾脏的深度^[13], 因此 Tønnesen 公式容易低估肾脏深度, 这一观点被国内大多数学者认可^[8]; 本研究进一步显示 Tønnesen 公式低估肾脏深度约 20.28% ~ 22.94%, 进而导致 GFR 被低估约 21.04% ~ 24.73%。

Taylor 公式是 1993 年 Taylor 用 CT 测量 201 例受检者仰卧位肾脏深度后拟合的经验公式, Taylor 在 CT 上肾门水平测量肾脏前、后表面到后背体表皮肤的垂直距离, 取两者的平均值作为肾脏深度, 与年龄、身高、体重等拟合出 Taylor 公式, 其方法为后来大多数研究者采用^[14-16], 而且仰卧位 CT 测量的肾脏深度为患者的真实深度, 与 Gates 法测量 GFR 的体位一致, 消除了体位变动所导致的误差, 可以较坐位 B 型超声更好地反映肾脏深度。Taylor 公式是基于 CT 测量肾脏深度得到的估算公式, 国外研究显示 Taylor 公式可以很好地反映肾脏深度。本研究显示 Taylor 公式较 Tønnesen 公式明显地提高了肾脏深度及 GFR, 但与 CT 测量的真实肾脏深度比较, Taylor 公式仍然低估了肾脏深度, 这与部分观点不一致, 可能的原因一方面在于 Taylor 公式是以欧美人群为研究对象推导而来, 不一定完全适用于国内人群, 国内有研究者认为 Taylor 公式是否适用于中国人值得探讨^[17], 因此应当建立符合中国人标准的肾脏深度估算公式, 目前国内在此方面已有部分研究^[13, 18-20]; 另一方面可能与 Taylor 公式被错误引用有关。Taylor 公式为: 左肾估算深度 (cm) = $16.17 \times W/H + 0.027 \times A - 0.94$; 右肾估算深度 (cm) = $15.13 \times W/H + 0.022 \times A + 0.077$; Taylor 在其文章摘要中将公式误写为右肾深度 (cm) = $15.31 \times W/H$

+ $0.022 \times A + 0.077$, 后虽经更正^[21], 但后来却被学者多次错误引用。GE Millennium VG Hawkeye-1 SPECT/CT 仪及 GE Infinia VC Hawkeye-4 SPECT/CT 仪中 Taylor 公式误用为右肾深度 (cm) = $15.13 \times W/H + 0.022 \times A - 0.077$; 国内引用 Taylor 公式的 3 篇报道均有误, 有的误引用为右肾深度 (cm) = $15.31 \times W/H + 0.022 \times A + 0.077$ ^[17, 22], 有的误引用为左肾深度 (cm) = $16.17 \times W/H + 0.027 \times A + 0.94$ ^[23]。这可能会影响肾脏深度及 GFR 结果的准确性。

李乾公式也是采用 Taylor 公式的方法, 利用 CT 实测 147 例中国人肾脏深度后拟合出来的国内第一个肾脏深度估算公式。杨辉等^[22]研究表明对于中国人 GFR 的测量, 李乾公式优于 Taylor 公式及 Tønnesen 公式。本研究支持这一观点, 且进一步表明李乾公式平均高估左侧肾脏深度约 2.99%, 进而导致 GFR 平均高估约 3.29%, 其计算的右侧肾脏深度及 GFR 与 CT 测量结果比较, 差异无统计学意义, 这可能与右肾相对固定, 活动度较小有关。

本研究结果显示 Tønnesen 公式及 Taylor 公式计算的 GFR 均低于 CT 测量肾脏深度后计算的 GFR, 这主要是由于 Tønnesen 公式及 Taylor 公式低估肾脏深度, 从而导致相应计算的 GFR 低于 CT 测量肾脏深度后计算的 GFR。Gates 法中肾脏深度对 GFR 的影响较其他因素更为重要^[9], Gruenewald 等^[24]报道估算肾脏深度和测量肾脏深度相差 1 cm, 肾脏^{99m}Tc-DTPA 总计数就会相差 14%; Awdeh 等^[9]报道按照^{99m}Tc 在软组织的衰减系数为 0.153 计算, 肾脏深度变化 1cm, GFR 就会产生 16% 的偏差。为了消除肾脏深度所导致的 GFR 的偏差, 利用 SPECT/CT 可以同时获得 SPECT 和 CT 图像, 精确测量肾脏深度, 进而提高 Gates 法测量 GFR 的准确性, 可以优化供肾 Gates 法测量 GFR 准确性, 在保证亲属活体肾移植供肾的安全、保障肾移植受者获得良好治疗效果等方面具有重要的临床意义。

总之, 本研究结果显示 CT 测量真实的肾脏深度提高了 Gates 法中肾脏深度估算的准确性, 进而提高了 GFR 测量的准确性, 可以优化亲属活体移植肾供者 GFR 测量的准确性, 在保证亲属活体移植肾供者及受者的安全方面具有重要的临床价值。当然, 还需多中心、长期、动态地观察, 验证其临床价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Godfrey T, Cuadrado MJ, Fofi C, et al. Chromium-51 ethylenedi amine tetra acetic acid glomerular filtration rate; a better predictor than glomerular filtration rate calculated by the Cockcroft-Gault formula for renal involvement in systemic lupus erythematosus patients[J]. *Rheumatology*, 2001, 40(3): 324-328. DOI:10. 1093/rheumatology/40. 3. 324.
- [2] Knight EL, Verhave JC, Spiegelman D, et al. Factors influencing serum cystatin C levels other than renal function and the impact on renal function measurement[J]. *Kidney Int*, 2004, 65(4): 1416-1421. DOI: 10. 1111/j. 1523-1755. 2004. 00517. x.
- [3] Ma YC, Zuo L, Zhang CL, et al. Comparison of ^{99m}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 Transpl*, 2006, 22(2): 417-423. DOI: 10. 1093/ndt/gfl603.
- [4] 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.
- [5] 中华医学会器官移植学分会, 中国医师协会器官移植医师分会. 中国活体供肾移植临床指南(2016 版)[J]. *器官移植*, 2016, 7(6): 417-426. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-7445. 2016. 06. 002.
- [6] Tønnesen KH, Munck O, Hald T, et al. Influence on the renogram of variation in skin to kidney distance and the clinical importance hereof [C]// Presented at the international symposium on radionuclides in nephrology. Berlin, 1974: 79.
- [7] 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. DOI: 10. 1002/jcu. 1870210817.
- [8] 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.
- [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] Gates GF. Glomerular filtration rate; estimation from fractional renal accumulation or ^{99m}Tc-DTPA (stannous) [J]. *Am J Roentgenol*, 1982, 138(3): 565-570. DOI: 10. 2214/ajr. 138. 3. 565.
- [11] Gates GF. Split renal function testing using ^{99m}Tc-dtpa; a rapid technique for determining differential glomerular filtration [J]. *Clin Nucl Med*, 1983, 8(9): 400-407. DOI: 10. 1097/00003072-198309000-00003.
- [12] Gates GF. Computation of glomerular filtration rate with Tc-99m DTPA; an in-house computer program [J]. *J Nucl Med*, 1984, 25(5): 613-618.
- [13] Inoue Y, Itoh H, Tagami H, et al. Measurement of renal depth in dynamic renal scintigraphy using ultralow-dose CT [J]. *Clin Nucl Med*, 2016, 41(6): 434-441. DOI: 10. 1097/rlu. 0000000000001146.
- [14] Lythgoe MF, Gradwell MJ, Evans K, et al. Estimation and relevance of depth correction in paediatric renal studies [J]. *Eur J Nucl Med*, 1998, 25(2): 115-119. DOI: 10. 1007/s002590050202.
- [15] Inoue Y, Yoshikawa K, Suzuki T, et al. Attenuation correction in evaluating renal function in children and adults by a camera-based method [J]. *J Nucl Med*, 2000, 41(5): 823-829. DOI: 10. 1016/S1071-3581(00)70021-3.
- [16] Palmer MR, Donohoe KJ, Francis JM, et al. Evaluation of relative renal function for patients who had undergone simultaneous liver-kidney transplants using Tc-99m-MAG3 scintigraphy with attenuation correction from anatomical images and SPECT/CT [J]. *Nucl Med Commun*, 2011, 32(8): 738-744. DOI: 10. 1097/mnm. 0b013e328347e958.
- [17] 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. DOI: 10. 3321/j. issn: 1003-3289. 2004. 06. 046.
- [18] Ma GY, Shao MZH, Xu BX, et al. Establish new formulas for the calculation of renal depth in both children and adults [J]. *Clin Nucl Med*, 2015, 40(7): e357-e362. DOI: 10. 1097/RLU. 0000000000000808.
- [19] Xue JJ, Deng HX, Jia X, et al. Establishing a new formula for estimating renal depth in a Chinese adult population [J]. *Medicine*, 2017, 96(5): e5940. DOI: 10. 1097/md. 0000000000005940.
- [20] Si HW, Chen YM, Li L, et al. A step-by-step regressed pediatric kidney depth formula validated by a reasonable index [J]. *Medicine*, 2017, 96(13): e6539. DOI: 10. 1097/md. 0000000000006539.
- [21] Taylor A. Formulas to estimate renal depth in adults [J]. *J Nucl Med*, 1994, 35(12): 2054-2055. DOI: 10. 1097/00004424-199412000-00008.
- [22] 杨辉, 李强, 李文亮, 等. 三种肾脏深度算式对中国人的适用性[J]. *中国医学影像学杂志*, 2013, 21(9): 652-655. DOI: 10. 3969/j. issn. 1005-5185. 2013. 09. 004.
- [23] 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.
- [24] Gruenewald SM, Collins LT, Fawdry RM. Kidney depth measurement and its influence on quantitation of function from gamma camera renography [J]. *Clin Nucl Med*, 1985, 10: 398-401. DOI: 10. 1097/00003072-198506000-00002.

(收稿日期: 2019-01-21)