

# $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DMSA 肾显像校正肾脏 ROI 及深度对先天性肾积水患儿患肾 GFR 测定的影响

郭钊 赵德善

山西医科大学第二医院核医学科, 太原 030001

通信作者: 赵德善, Email: deshanzh@163.com

**【摘要】** 目的 探讨用 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -二巯基丁二酸(DMSA)肾静态显像肾影校正肾动态显像中肾脏 ROI 及深度对先天性肾积水婴儿单肾肾小球滤过率(GFR)测定的影响。方法 前瞻性纳入 2022 年 1 月至 2022 年 11 月山西医科大学第二医院核医学科的 30 例先天性肾积水患儿[男 25 例、女 5 例, 年龄 3.0(1.0,5.5)个月],根据积水程度将 60 个肾脏分为 3 组:正常组(左肾 7 个、右肾 12 个),轻度积水组(左肾 10 个、右肾 12 个),中重度积水组(左肾 13 个、右肾 6 个)。患儿于 3 d 内分别接受 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -二乙撑三胺五乙酸(DTPA)利尿肾动态和 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DMSA 肾静态显像,在显像结束后行双肾侧位采集。依据侧位图像和 Tonnesen 公式分别获得肾脏深度(单位:cm),并进行比较。通过常规 Gates 法测得的单侧 GFR(单位: $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ )用  $\text{gGFR}_{\text{single}}$  表示。将肾静态显像肾脏深度校正后单肾 GFR ( $\text{dGFR}_{\text{single}}$ )、静态显像 ROI 对动态显像 ROI 校正后得到的面积校正后单肾 GFR( $\text{aGFR}_{\text{single}}$ )、深度和 ROI 均校正后单肾 GRF( $\text{adGFR}_{\text{single}}$ )与  $\text{gGFR}_{\text{single}}$  进行对比。采用单因素方差分析、最小显著差异  $t$  检验及 Dunnett- $t$  检验比较数据差异。结果 在不同程度积水组中,肾动态显像、静态显像和 Tonnesen 公式所测肾脏深度有差异,两两比较差异也有统计学意义( $F$  值:38.07~59.63, $t$  值:2.53~15.17,均  $P < 0.05$ )。正常组 2 种显像所得的肾脏深度差异无统计学意义( $F$  值:34.89、54.30,均  $P < 0.05$ ;  $t$  值:0.65、1.60,均  $P > 0.05$ )。各组  $\text{aGFR}_{\text{single}}$  均较  $\text{gGFR}_{\text{single}}$  小,但数值相近,其在正常肾差异无统计学意义( $F$  值:3.02、5.51,均  $P < 0.05$ ;  $t$  值:0.12、0.53,均  $P > 0.05$ ),而在异常肾(左肾:43.27±8.84 与 46.19±7.88, $F=9.75$ , $t=2.18$ ,均  $P < 0.05$ ;右肾:39.87±10.25 与 42.94±10.28, $F=10.32$ , $t=2.04$ ,均  $P < 0.05$ )及轻度(48.58±10.94 与 51.08±11.44; $F=10.34$ , $t=2.04$ ,均  $P < 0.05$ )、中重度(34.41±8.84 与 37.62±8.84; $F=19.97$ , $t=3.41$ ,均  $P < 0.05$ )积水肾差异有统计学意义。正常、轻度和中重度积水组  $\text{dGFR}_{\text{single}}$  均较  $\text{gGFR}_{\text{single}}$  明显增大,差异均有统计学意义( $t$  值:3.82、3.39、3.81,均  $P < 0.01$ )。  $\text{adGFR}_{\text{single}}$  介于  $\text{aGFR}_{\text{single}}$  与  $\text{dGFR}_{\text{single}}$  之间,正常右肾、异常肾脏及轻度和中重度积水组  $\text{adGFR}_{\text{single}}$  与  $\text{gGFR}_{\text{single}}$  差异均有统计学意义( $t$  值:2.25~3.12,均  $P < 0.05$ )。结论 肾静态显像校正积水肾 ROI 可提高对患肾 GFR 测定的准确性,尤其对于中重度先天性肾积水患儿;而深度校正和深度并 ROI 校正后的 GFR 均与真实 GFR 偏差更大。肾静态显像侧位法较肾动态显像侧位法测得的肾脏深度更准确。

**【关键词】** 肾盂积水;肾小球滤过率;放射性核素显像; $^{99}\text{m}$  锝二巯基丁二酸; $^{99}\text{m}$  锝五乙酸盐  
DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20221024-00318

## Effects of renal ROI and depth calibrated by $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DMSA renal imaging on GFR measurement of the injured-kidney in infants with congenital hydronephrosis

Guo Ke, Zhao Deshan

Nuclear Medicine Department, the Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China

Corresponding author: Zhao Deshan, Email: deshanzh@163.com

**【Abstract】** **Objective** To investigate the application value of  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -dimercaptosuccinic acid (DMSA) renal static imaging to correct renal ROI and renal depth in measurement of glomerular filtration rate (GFR) of the injured-kidney in infants with congenital hydronephrosis. **Methods** From January 2022 to November 2022, 30 infants with congenital hydronephrosis (25 males, 5 females, age 3.0(1.0,5.5) months) in Nuclear Medicine Department of the Second Hospital of Shanxi Medical University were prospectively included. Sixty kidneys were divided into 3 groups according to the degree of hydronephrosis: normal group (7 left kidneys and 12 right kidneys), mild hydronephrosis group (10 left kidneys and 12 right kidneys) and moderate to severe hydronephrosis group (13 left kidneys and 6 right kidneys). The patients received  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -diethylenetriamine penta-acetic acid (DTPA) diuretic renal dynamic imaging and  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DMSA renal static imaging within 3 days, and bilateral renal lateral acquisition was performed at the end of the imaging. The depths (cm) of kidneys measured based on the lateral image and Tonnesen's formula were compared. The single

kidney GFR ( $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ ) measured after the renal ROI corrected, or renal depth corrected, or renal ROI-depth corrected by renal static imaging ( $\text{aGFR}_{\text{single}}$ ,  $\text{dGFR}_{\text{single}}$ ,  $\text{adGFR}_{\text{single}}$ ) was compared with that measured by Gates method ( $\text{gGFR}_{\text{single}}$ ). The one-way analysis of variance, the least significant difference- $t$  test and Dunnett- $t$  test were used for data analysis. **Results** In different hydronephrosis groups, renal depths measured by dynamic imaging, static imaging and Tonnesen formulas were significantly different ( $F$  values: 38.07–59.63,  $t$  values: 2.53–15.17, all  $P < 0.05$ ). There were no significant differences in renal depth between the two kinds of imaging in the normal group ( $F$  values: 34.89, 54.30, both  $P < 0.05$ ;  $t$  values: 0.65, 1.60, both  $P > 0.05$ ).  $\text{aGFR}_{\text{single}}$  of all groups were smaller than  $\text{gGFR}_{\text{single}}$ , but the values were similar, and were not significantly different in normal kidneys ( $F$  values: 3.02, 5.51, both  $P < 0.05$ ;  $t$  values: 0.12, 0.53, both  $P > 0.05$ ), while those in abnormal kidneys (left kidneys:  $43.27 \pm 8.84$  vs  $46.19 \pm 7.88$ ,  $F = 9.75$ ,  $t = 2.18$ , both  $P < 0.05$ ; right kidneys:  $39.87 \pm 10.25$  vs  $42.94 \pm 10.28$ ,  $F = 10.32$ ,  $t = 2.04$ , both  $P < 0.05$ ) and in mild ( $48.58 \pm 10.94$  vs  $51.08 \pm 11.44$ ,  $F = 10.34$ ,  $t = 2.04$ , both  $P < 0.05$ ), moderate to severe ( $34.41 \pm 8.84$  vs  $37.62 \pm 8.84$ ,  $F = 19.97$ ,  $t = 3.41$ , both  $P < 0.05$ ) hydronephrosis groups were different. The  $\text{dGFR}_{\text{single}}$  was significantly higher than  $\text{gGFR}_{\text{single}}$  in 3 (normal, mild, moderate to severe) hydronephrosis groups ( $t$  values: 3.82, 3.39, 3.81, all  $P < 0.01$ ).  $\text{adGFR}_{\text{single}}$  was between  $\text{aGFR}_{\text{single}}$  and  $\text{dGFR}_{\text{single}}$ , and  $\text{adGFR}_{\text{single}}$  were significantly different from  $\text{gGFR}_{\text{single}}$  in normal right kidneys, in abnormal kidneys and in mild and moderate to severe hydronephrosis groups ( $t$  values: 2.25–3.12, all  $P < 0.05$ ). **Conclusions** Renal static imaging corrected ROI can improve the accuracy of GFR measurement of the affected kidney, especially for children with moderate and severe congenital hydronephrosis. However, the GFR corrected for renal depth or ROI-depth are significantly different from the true GFR. The lateral kidney depth measured by static imaging is more accurate than that measured by dynamic imaging.

**【Key words】** Hydronephrosis; Glomerular filtration rate; Radionuclide imaging; Technetium Tc 99m dimercaptosuccinic acid; Technetium Tc 99m pentetate  
DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20221024-00318

小儿先天性肾积水多由输尿管肾盂连接处梗阻所致<sup>[1]</sup>。随着胎儿泌尿生殖系统发育的逐步完善,短暂肾盂扩张导致的肾积水会得到明显改善,有部分胎儿至出生后 1 岁内肾积水仍无法缓解<sup>[2]</sup>,准确测定积水侧肾脏肾小球滤过率(glomerular filtration rate, GFR)对于诊断和监测小儿肾积水进展至关重要。<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-二乙撑三胺五乙酸(diethylene triamine penta-acetic acid, DTPA)利尿肾动态显像在评估分肾功能、协助鉴别诊断肾积水方面具有优势,还可获得单肾 GFR。GFR 的测定准确性易受多种因素的影响,尤其是肾脏 ROI 和肾脏深度。CT 能获取清晰的肾脏结构并准确测量肾脏深度<sup>[3]</sup>,对重度肾积水肾脏能校正 ROI 以获得更真实的 GFR<sup>[4]</sup>。但 CT 检查因其电离辐射特点而在 1 岁内小儿中使用受限。<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-二巯基丁二酸(dimercaptosuccinic acid, DMSA)肾静态显像也可获得相对较为清晰的肾脏影像,在校正肾积水小儿患肾的肾脏深度和 ROI 方面可能具有一定的优势。本研究旨在探讨<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DTPA 利尿肾动态显像和<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DMSA 肾静态显像在校正肾积水婴儿患肾 GFR 方面的应用价值。

## 资料与方法

1.一般资料。前瞻性研究 2022 年 1 月至 2022 年 11 月于山西医科大学第二医院核医学科接受<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DTPA 利尿肾动态显像和<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DMSA 肾静态显像的年龄在 12 个月内的先天性肾积水患儿,经肾脏超

声及核素显像排除单肾、重复肾、多囊肾、异位肾等异常肾患儿。共纳入 30 例患儿(包括 10 例新生儿),其中男 25 例,女 5 例;年龄:3.0(1.0, 5.5)个月(范围:23 d~12 个月);体质量:( $5.83 \pm 1.50$ ) kg(范围:3.3~11.0 kg)。根据 2014 年美国多个学科协会专家共识中产前及产后新生儿尿路扩张(urinary tract dilation, UTD)分级系统,将患儿的肾积水程度分为正常、轻度、中度和重度积水<sup>[5]</sup>。本研究 60 个肾脏中,正常肾 19 个(左肾 7 个,右肾 12 个),轻度肾积水 22 个(左肾 10 个,右肾 12 个),中度肾积水 2 个(左、右肾各 1 个),重度肾积水 17 个(左肾 12 个,右肾 5 个)。因中度肾积水数量较少,与重度肾积水组合并,即中重度肾积水 19 个(左肾 13 个,右肾 6 个)。本研究通过山西医科大学第二医院伦理委员会审核[批件号:(2022)YX 第(122)号],患儿家属签署知情同意书。

2.显像设备及放射性药物。采用美国 GE Discovery NM/CT 670 双探头 SPECT/CT 仪显像,探头配置低能高分辨准直器,能峰为 140 keV,窗宽 20%。利尿肾动态显像使用<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DTPA,肾静态显像使用<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DMSA,均为自行标记后 3 h 内使用,放化纯 $\geq 95\%$ 。高锝酸钠注射液(<sup>99</sup>Mo-<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>发生器)由北京原子高科股份有限公司提供;注射用 DTPA 和 DMSA 均由北京欣科思达医药科技有限公司提供。

3.利尿肾动态显像。检查当日患儿空腹并建立静脉通路,以质量分数 10%水合氯醛灌肠镇静前 30 min,

按体质量 5 ml/kg 给予水或母乳喂养。显像时患儿取仰卧位,行后位采集,于静脉液路按体质量 3.7 MBq/kg 注射 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA[(54.39±8.51) MBq, 体积为 0.3~0.5 ml] 后即刻启动数据采集,15 min 时按体质量 1 mg/kg 注射呋塞米。矩阵 64×64,放大倍数为 1.0。血流灌注相:2 s/帧,共 60 s;功能影像:10 s/帧,共 30 min。显像结束后采集患儿双肾侧位像,矩阵 128×128,计数  $3\times 10^5$ [6]。

4.肾静态显像。在利尿肾动态显像后 1~3 d 内进行 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DMSA 肾静态显像,检查当日患儿空腹并建立静脉液路,按体质量 3.7 MBq/kg 经静脉液路注射显像剂[(57.72±10.73) MBq, 体积为 0.3~0.5 ml], 1 h 后进行前位、后位、左侧位、右侧位采集。前位、后位采集计数  $7\times 10^5$ ,左侧位、右侧位采集计数  $3\times 10^5$ 。采集矩阵 128×128,放大倍数 1.0。

5.图像处理与 GFR 计算。(1)肾脏 ROI 勾画。沿肾动态和肾静态显像中的双肾影像外围边缘勾画肾影,剔除肾盂部分,形成 1 个肾脏形态闭环作为肾脏 ROI(图 1)。(2)肾脏深度测算。利尿肾动态显像及肾静态显像结束后,将双肾左、右侧位像肾影调整至最佳清晰度,分别勾画双肾 ROI,并测量肾上极和肾下极至后背体表的垂直距离,取二者平均值作为肾脏深度(图 2)。另外,根据 Tonnesen 公式计算 Gates 法肾脏深度:右肾深度 =  $13.3\times(\text{体质量}/\text{身高})+0.7\text{ cm}$ ,左肾深度 =  $13.2\times(\text{体质量}/\text{身高})+0.7\text{ cm}$ [7]。(3)GFR 计算。应用 SPECT/CT 仪配备的 Xeleris 图像处理系统,通过 Gates 法测得单肾 GFR( $\text{gGFR}_{\text{single}}$ )及总肾 GFR;输入肾静态显像肾脏侧位图像校正后肾脏深度,得到深度校正后单肾 GFR( $\text{dGFR}_{\text{single}}$ );应用肾静态显像肾影所勾画的 ROI 对肾动态显像的肾脏 ROI 进行校正,得到面积校正后单肾 GFR( $\text{aGFR}_{\text{single}}$ );同时输入校正后的肾脏深度和 ROI,获得校正后单肾 GFR( $\text{adGFR}_{\text{single}}$ )。

6.统计学处理。采用 IBM SPSS 24.0 软件分析,符合正态分布的定量资料以  $\bar{x}\pm s$  表示,非正态分布定量资料以  $M(Q_1, Q_3)$  表示。采用单因素方差分析对不同方法所得的肾脏深度、单肾 GFR 比较,然后用最小显著差异(least significant difference, LSD)- $t$  检验进行不同方法间肾脏深度的两两比较,运用 Dunnett- $t$  检验对  $\text{gGFR}_{\text{single}}$ (控制组)与其他各 GFR 进行比较, $P<0.05$  为差异有统计学意义。对肾动态及肾静态侧位法测得的肾脏深度行 Pearson 相关分析, $|r|\geq 0.8$  为高度相关, $0.5\leq|r|<0.8$  为中度相关, $0.3\leq|r|<0.5$  为低度相关, $0<|r|<0.3$  为弱相关。

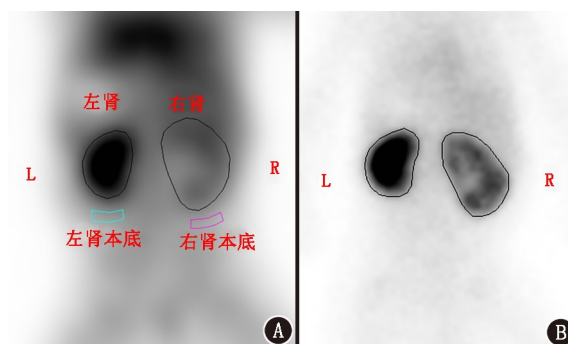


图 1 先天性肾积水婴儿(男,年龄 3 个月)肾 ROI 的勾画示意图(L:左,R:右)。A.  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -二乙撑三胺五乙酸(DTPA)利尿肾动态显像后位双肾 ROI 的勾画;B.  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -二巯基丁二酸(DMSA)肾静态显像后位双肾 ROI 的勾画

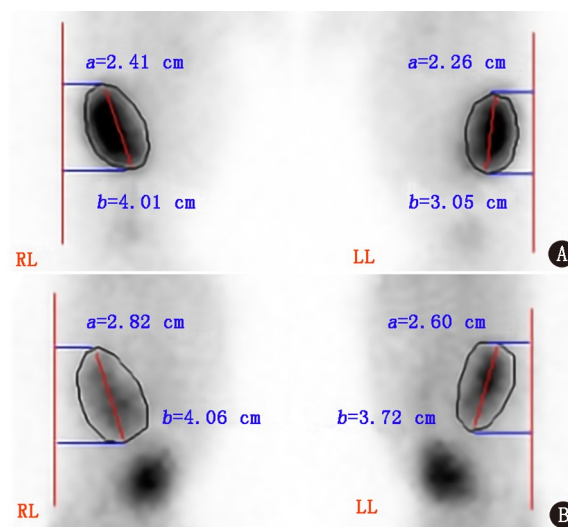


图 2 先天性肾积水婴儿(男,年龄 1 个月)肾显像侧位影像肾脏深度测算示意图[ $a$ 、 $b$  分别为肾上极和肾下极至后背体表的垂直距离,肾脏深度 =  $(a+b)/2$ ;RL:右侧位,LL:左侧位]。A. 肾静态显像右肾、左肾侧位影像肾脏深度测算;B. 肾动态显像右肾、左肾侧位影像肾脏深度测算

## 结 果

1.不同方法所获肾脏深度。肾动态显像、肾静态显像侧位法及 Tonnesen 公式所获肾脏深度见表 1。不同积水程度肾脏组的肾动态侧位像所测左肾、右肾深度均大于肾静态侧位像结果,但在正常组结果差异无统计学意义( $F$  值:34.89、54.30,均  $P<0.05$ ;  $t$  值:0.65、1.60,均  $P>0.05$ ),而在轻度( $F$  值:38.07、47.28,  $t$  值:2.53、2.81,均  $P<0.05$ )、中重度( $F$  值:51.74、59.63,  $t$  值:2.90、2.70,均  $P<0.05$ )积水组差异均有统计学意义;Tonnesen 公式所得肾脏深度明显小于其他 2 种方法所获结果( $t$  值:5.99~15.17,均  $P<0.05$ )。肾动态及肾静态侧位法测得的左肾深度高度相关( $r=0.88, P<0.001$ ),右肾深度中度相关



( $r=0.66, P<0.001$ )。

2. 不同方法所测单肾 GFR。(1) 将 60 只肾脏按积水程度分为正常(左肾 7 个,右肾 12 个)和异常组(左肾 23 个,右肾 18 个)。正常组  $aGFR_{single}$  (GFR 单位均为  $ml \cdot min^{-1} \cdot 1.73 m^{-2}$ ) 较  $gGFR_{single}$  小,但差异无统计学意义(左肾:  $49.40 \pm 10.09$  与  $50.03 \pm 9.83; F=3.02, P=0.049; t=0.12, P=0.909$ ; 右肾:  $51.71 \pm 6.56$  与  $52.49 \pm 6.21; F=5.51, P=0.003; t=0.53, P=0.604$ ), 而异常组这 2 个数据间差异有统计学意义(左肾:  $43.27 \pm 8.84$  与  $46.19 \pm 7.88; F=9.75, P<0.001; t=2.18, P=0.035$ ; 右肾:  $39.87 \pm 10.25$  与  $42.94 \pm 10.28; F=10.32, P<0.001; t=2.04, P=0.049$ )。正常组(左肾、右肾:  $55.37 \pm 11.26, 58.32 \pm 6.89$ ) 及异常组  $dGFR_{single}$  (左肾、右肾:  $52.18 \pm 8.66, 48.53 \pm 11.55$ ) 均较  $gGFR_{single}$  明显增大( $t$  值:  $2.58 \sim 2.88$ , 均  $P<0.05$ )。  $adGFR_{single}$  介于  $aGFR_{single}$  与  $dGFR_{single}$  之间, 其( $52.69 \pm 11.53$ ) 与  $gGFR_{single}$  在正常左肾差异无统计学意义( $t=1.48, P=0.198$ ); 正常右肾( $55.18 \pm 9.97$ ) 及异常肾脏  $adGFR_{single}$  (左肾:  $49.90 \pm 9.44$ , 右肾:  $46.56 \pm 14.21$ ) 与相应  $gGFR_{single}$  间差异均有统计学意义( $t$  值:  $2.45, 2.56, 2.25$ , 均  $P<0.05$ )。

(2) 正常、轻度和中重度积水肾脏 GFR 见表 2。正常组  $aGFR_{single}$  略低于  $gGFR_{single}$  ( $F=8.95, P<0.001; t=2.01, P=0.049$ ), 轻度、中重度积水组  $aGFR_{single}$  与  $gGFR_{single}$  差异均有统计学意义( $F$  值:  $10.34, 19.97, t$  值:  $2.04, 3.41$ , 均  $P<0.05$ )。3 组肾脏  $dGFR_{single}$  ( $t$  值:  $3.82, 3.39, 3.81$ , 均  $P<0.01$ ) 和  $adGFR_{single}$  ( $t$  值:  $2.23, 3.12, 2.93$ , 均  $P<0.05$ ) 均较  $gGFR_{single}$  明显增大。

### 讨 论

小儿先天性肾积水多为生理性改变, 随着肾脏

发育完善而自行缓解, 但有部分肾积水无法缓解并加重, 使积水侧肾脏受损。超声对肾积水的诊断有优势, 但在鉴别梗阻性肾积水方面不具特色。利尿肾动态显像具有评估分肾功能、鉴别机械性尿路梗阻和非机械性尿路扩张的优点, 可提前识别先天性肾积水。目前, 临床测定 GFR 的“金标准”是双血浆法, 但在患儿中实行较为困难。肾动态显像测定患儿 GFR 的精确度虽较用于成人有所偏差, 但在现阶段尚无准确评判婴幼儿分肾功能方法的情况下, 其是相对准确、可靠的方法。

利尿肾动态显像鉴别梗阻性小儿先天性肾积水主要依赖于对积水侧肾脏功能的评估——通过 Gates 法测定 GFR 以评估肾脏功能和尿路通畅情况。而 GFR 测定的影响因素较多, 如肾脏 ROI、患儿身高和体质量、放射性药物是否为“弹丸”式注射、水负荷情况、放射性药物标记率等, 其中肾脏 ROI 和深度的影响较明显<sup>[8]</sup>。由于婴儿身矮、体轻, 肾脏距离膀胱较近, 肾动态显像时尿液会很快充盈膀胱, 对肾脏造成散射, 影响肾脏 ROI 的准确勾画。不同月龄婴儿的身高、体质量差异较大, 婴儿体内水分占比较高, 这些也会影响肾脏深度的估算。另外, 放射性药物释放的  $\gamma$  射线会在体内进行衰减, 故需行适当的衰减校正<sup>[9]</sup>。CT 在积水肾的面积和深度校正方面均有优势<sup>[4]</sup>, 但不适用于婴幼儿。肾静态显像的肾影清晰, 可代替 CT 应用于婴幼儿积水肾 ROI 和肾脏深度的测定。本研究结果显示, Tonnesen 公式明显低估了肾脏深度; 肾动态和肾静态显像侧位法测定的肾脏深度在正常左肾中、正常右肾中差异均无统计学意义(均  $P>0.05$ ), 在轻度、中重度组差异均有统计学意义(均  $P<0.05$ )。

表 1 各组先天性肾积水患儿肾脏经 3 种方法测算所获得的深度( $\bar{x} \pm s; cm$ )

积水组别	左肾深度			右肾深度		
	肾静态显像	肾动态显像	Tonnesen 公式	肾静态显像	肾动态显像	Tonnesen 公式
正常组	$3.49 \pm 0.36$	$3.58 \pm 0.30$	$2.05 \pm 0.28$	$3.48 \pm 0.33$	$3.71 \pm 0.48$	$2.26 \pm 0.40$
轻度积水组	$3.50 \pm 0.47$	$3.72 \pm 0.46$	$2.18 \pm 0.39$	$3.62 \pm 0.27$	$3.71 \pm 0.25$	$2.16 \pm 0.33$
中重度积水组	$3.62 \pm 0.30$	$3.86 \pm 0.30$	$2.20 \pm 0.40$	$3.54 \pm 0.19$	$3.80 \pm 0.23$	$1.98 \pm 0.18$

注: 正常组、轻度积水组、中重度积水组左肾分别为 7、10、13 个, 右肾分别为 12、12、6 个

表 2 各组先天性肾积水患儿肾脏经 4 种方法测定的 GFR( $\bar{x} \pm s; ml \cdot min^{-1} \cdot 1.73 m^{-2}$ )

积水组别	肾脏个数	$gGFR_{single}$	$dGFR_{single}$	$aGFR_{single}$	$adGFR_{single}$
正常组	19	$50.17 \pm 9.09$	$55.55 \pm 10.42$	$48.73 \pm 9.19$	$52.51 \pm 10.20$
轻度积水组	22	$51.08 \pm 11.44$	$57.44 \pm 13.65$	$48.58 \pm 10.94$	$54.28 \pm 12.71$
中重度积水组	19	$37.62 \pm 8.84$	$43.09 \pm 10.70$	$34.41 \pm 8.84$	$39.92 \pm 9.48$

注:  $gGFR_{single}$  为肾动态显像 Gates 法单肾肾小球滤过率(GFR),  $dGFR_{single}$  为肾静态显像肾脏深度校正后测得的单肾 GFR,  $aGFR_{single}$  为肾静态显像肾脏面积校正后测得的单肾 GFR,  $adGFR_{single}$  为肾静态显像肾脏面积及深度校正后测得的单肾 GFR

肾动态显像肾影的相对模糊可由多种因素引起,如侧位影像采集时肾内放射性水平明显降低<sup>[10]</sup>、膀胱内放射性计数较高、重度肾积水时肾影异常增大及肾皮质显影不清等。因肾静态显像可以获得清晰的肾影,具有高计数、图像清、统计误差少等优点<sup>[11]</sup>,故可通过肾静态后位显像图中肾影勾画出 ROI,对肾动态显像 ROI 进行面积校正。本研究结果示,正常肾脏中  $aGFR_{single}$  虽低于  $gGFR_{single}$ ,但 2 组数值更接近,在正常左肾、右肾差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ ),但将左、右肾合为 1 组时,正常组  $aGFR_{single}$  与  $gGFR_{single}$  差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),这可能与左、右肾的形态差异有关。在轻度、中重度积水肾组中, $aGFR_{single}$  与  $gGFR_{single}$  均有差异,中重度积水肾组更明显。除正常左肾间  $adGFR_{single}$  较  $gGFR_{single}$  差异无统计学意义外( $P < 0.05$ ),正常、轻度和中重度积水肾  $dGFR_{single}$  和  $adGFR_{single}$  均较  $gGFR_{single}$  明显增大。

本研究结果表明,肾静态显像能获得清晰的肾脏边缘,尤其对于中重度积水肾脏,可勾画出准确的肾影,在肾脏 ROI 校正后可以获取更符合真实数据的肾脏 ROI,得到准确的 GFR,有利于中重度先天性肾积水患儿的肾功能评价和梗阻性肾积水的鉴别诊断。另外, $dGFR_{single}$  和  $adGFR_{single}$  都明显大于  $gGFR_{single}$ ,可能与婴幼儿体格较小、放射性衰减系数被肾脏深度校正过度有关。

**利益冲突** 所有作者声明无利益冲突

**作者贡献声明** 郭轲:研究实施、论文撰写、统计学分析;赵德善:研究指导、论文修改、经费支持

## 参 考 文 献

- [1] Nguyen HT, Herndon CD, Cooper C, et al. The Society for Fetal Urology consensus statement on the evaluation and management of antenatal hydronephrosis[J]. J Pediatr Urol, 2010, 6(3): 212-231. DOI:10.1016/j.jpuro.2010.02.205.
- [2] Tihy F, Lemieux N, Lemyre E. Complex chromosome rearrangement and recombinant balanced translocation in a mother and a daughter with the same phenotypic abnormalities[J]. Am J Med Genet A, 2005, 135(3): 317-319. DOI:10.1002/ajmg.a.30697.
- [3] 刘德庆,姚勇,李燕,等.同机 CT 肾脏深度校正肾积水患者<sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DTPA 肾动态显像 GFR 测定中的价值[J].中华核医学与分子影像杂志, 2020, 40(11): 658-662. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200509-00184.
- [4] Liu DQ, Yao Y, Li Y, et al. Integrated CT renal depth correction for the GFR determination in the <sup>99</sup>Tc<sup>m</sup>-DTPA renal dynamic imaging of patients with hydronephrosis[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2020, 40(11): 658-662. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200509-00184.
- [5] Yin H, Liang W, Zhao D. The application value of the renal region of interest corrected by computed tomography in single-kidney glomerular filtration rate for the evaluation of patients with moderate or severe hydronephrosis [J]. Front Physiol, 2022, 13: 861895. DOI:10.3389/fphys.2022.861895.
- [6] Chow JS, Koning JL, Back SJ, et al. Classification of pediatric urinary tract dilation: the new language[J]. Pediatr Radiol, 2017, 47(9): 1109-1115. DOI:10.1007/s00247-017-3883-0.
- [7] 刘鹏,李红磊,富丽萍.比较不同测量肾脏深度方法及其对肾动态显像评估肾小球滤过率的影响[J].中国医学影像技术, 2021, 37(6): 929-932. DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.06.032.
- [8] Liu P, Li HL, Fu LP. Comparison on calculation methods for renal depth and the impacts on glomerular filtration rate in renal dynamic imaging[J]. Chin J Med Imaging Technol, 2021, 37(6): 929-932. DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.06.032.
- [9] 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.
- [10] Li Q, Pan Z, Li Q, et al. Development of a generalized model for kidney depth estimation in the Chinese population: a multi-center study[J]. Eur J Radiol, 2020, 124: 108840. DOI:10.1016/j.ejrad.2020.108840.
- [11] 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杂志, 2012, 32(4): 255-258. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2012.04.004.
- [12] 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] Werner RA, Chen X, Lapa C, et al. The next era of renal radionuclide imaging: novel PET radiotracers[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 46(9): 1773-1786. DOI:10.1007/s00259-019-04359-8.
- [14] 杨志刚,王巍.核医学肾脏显像对儿童肾积水患者分肾功能的评估价值[J].临床小儿外科杂志, 2021, 20(4): 307-311. DOI:10.12260/lxewkzz.2021.04.002.
- [15] Yang JG, Wang W. Value of nuclear medicine renal imaging in the assessment of renal function in pediatric hydronephrosis[J]. J Clin Pediatr, 2021, 20(4): 307-311. DOI:10.12260/lxewkzz.2021.04.002.

(收稿日期:2022-10-24)