

❖ 生殖泌尿影像学

Normal reference values of renal artery obtained with Doppler ultrasound and the clinical significance in healthy children

YU Hong-kui, XIA Bei*, LIN Zhou, XU Na

(Department of Ultrasound, Shenzhen Children's Hospital, Shenzhen 518026, China)

[Abstract] **Objective** To obtain normal values of renal arterial blood flow parameters in healthy children with Doppler ultrasound. **Methods** Totally 319 healthy children aged from 1 day to 16 years (192 males and 127 females) were randomly enrolled. All the parameters of renal artery in both kidneys, including peak systolic velocity (V_s), end-diastolic velocity (V_d), mean flow velocity (V_m), peak systolic velocity/end-diastolic velocity (S/D), pulsatility index (PI), resistance index (RI) and systolic acceleration time (AT) were evaluated with Doppler ultrasound. The relationship between all the parameters and age as well as body surface area (BSA) were analyzed. **Result** There was no difference between male and female children, nor between left and right in the renal arterial parameters (all $P > 0.05$). There was significant correlation between BSA and age of normal children ($r = 0.96$, $P < 0.01$). BSA of normal children correlated positively and negatively with renal arterial blood velocities and RI, respectively (all $P < 0.05$). All the parameters except AT decremented in the order of main renal artery, segmental artery and interlobar artery. **Conclusion** Parameters of renal artery measured with Doppler ultrasound in healthy children which have strong correlation with BSA may be considered as normal reference values for the diagnosis of renal diseases.

[Key words] Ultrasonography; Renal artery; Child; Reference values

儿童肾动脉多普勒超声正常参考值及其临床意义

于红奎, 夏 焙*, 林 洲, 许 娜

(深圳市儿童医院超声科, 广东 深圳 518026)

[摘 要] **目的** 探讨多普勒超声测量正常儿童肾动脉血流参数的正常参考值及其临床意义。**方法** 随机选取 319 名 1 天~16 岁正常儿童, 男 192 名, 女 127 名, 以多普勒超声测量双侧肾脏的肾动脉血流参数, 包括收缩期峰值流速(V_s)、舒张末期峰值流速(V_d)、平均血流速度(V_m)、收缩期峰值流速与舒张末期峰值流速比值(S/D)、搏动指数(PI)、阻力指数(RI)和收缩期血流加速时间(AT); 分析各参数随年龄、体表面积(BSA)的变化趋势。**结果** 男性与女性儿童及左侧与右侧肾动脉各项血流参数差异均无统计学意义(P 均 > 0.05); 正常儿童 BSA 与年龄呈正相关($r = 0.96$, $P < 0.01$), 与肾动脉血流速度及 RI 分别呈正相关与负相关(P 均 < 0.05); 除 AT 外, 肾动脉血流速度和 RI 以肾主动脉、段动脉、叶间动脉依次递减($P < 0.05$)。**结论** 正常儿童肾动脉多普勒超声血流参数与 BSA 相关, 可作为儿童肾脏疾病诊断的正常参考值。

[关键词] 超声检查; 肾动脉; 儿童; 参考值

[中图分类号] R322.12; R445.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2013)08-1363-05

多普勒超声能无创性检测肾血流灌注, 定量评价肾脏血流动力学的变化, 目前对儿童的应用也越来越

多^[1-4]。肾血管阻力与年龄密切相关, 因此成人肾动脉血流参数正常值不能直接用于儿童。近十几年来, 国内儿童的生长发育已较以往发生显著改变, 以往的正常值^[5-7]不再适用, 目前急需超声检测儿童肾动脉血流参数的正常参考值。本研究探讨肾动脉血流与年龄、体表面积(body surface area, BSA)的关系, 旨在建立儿童肾动脉多普勒超声测量的正常参考值, 为临床诊

[作者简介] 于红奎(1981—), 男, 山东临清人, 硕士, 主治医师。研究方向: 小儿超声诊断。E-mail: yhk20@163.com

[通讯作者] 夏焙, 深圳市儿童医院超声科, 518026。

E-mail: xiabeimd@gmail.com

[收稿日期] 2013-04-08 **[修回日期]** 2013-06-08

治儿童肾脏及肾血管疾病提供依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2011 年 3 月—2011 年 12 月来我院接受检查且体检结果正常的 1 天~16 岁健康儿童 319 名,其中男 192 名,女 127 名,平均 (6.2 ± 4.7) 岁;测量身高(H)、体质量(W),计算 BSA, $BSA = 0.0061 \times H + 0.0128 \times W - 0.1529$ 。

1.2 仪器与方法 采用 GE Volusion E8 彩色多普勒超声诊断仪,RAB4-A-D 宽频探头,频率 1.6~6.7 MHz。嘱受检者仰卧,在其自然安静状态下经侧腰部冠状切面以彩色多普勒显示肾动脉,以脉冲多普勒分别检测主肾动脉(main renal artery, MRA)、段动脉(segmental artery, SA)、叶间动脉(interlobar artery, ILA)频谱,获取频谱时取样线与血流方向夹角最小($<60^\circ$),所获频谱至少应有 3 个连续相同波形(图 1)。采用手动包绕,仪器自动计算得出参数,包括收缩期峰值流速(peak systolic velocity, V_s)、舒张末期峰值流速(end-diastolic velocity, V_d)、平均血流速度(mean flow velocity, V_m)、收缩期峰值流速与舒张末期峰值流速比值(peak systolic velocity/end-diastolic velocity, S/D)、搏动指数(pulsatility index, PI)、阻力指数(resistance index, RI)及收缩期血流加速时间(acceleration time, AT)。以上参数各测量 3 次,取平均值。

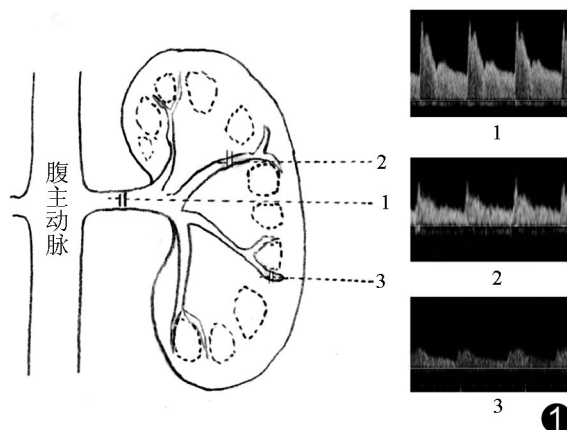


图 1 脉冲多普勒检测肾动脉取样位置及频谱示意图 (1:主肾动脉;2:肾段动脉;3:叶间动脉)

1.3 统计学分析 采用 SPSS 16.0 统计软件包,计量

表 1 正常儿童肾动脉多普勒超声参数(Y)与 BSA(X)的 Pearson 相关分析

参数(Y)	相关方程	相关系数	P 值
V_s (cm/s)			
MRA	$Y = -40.08X^2 + 90.40X + 42.69$	0.52	<0.001
SA	$Y = -4.35X^2 + 24.69X + 21.86$	0.54	<0.001
ILA	$Y = -7.11X^2 + 19.94X + 10.83$	0.52	<0.001
V_d (cm/s)			
MRA	$Y = -16.64X^2 + 48.02X - 1.68$	0.70	<0.001
SA	$Y = 1.88X^2 - 5.24X + 6.26$	0.76	<0.001
ILA	$Y = -2.33X^2 + 8.84X + 2.50$	0.71	<0.001
V_m (cm/s)			
MRA	$Y = -17.97X^2 + 48.54X + 17.56$	0.60	<0.001
SA	$Y = -0.72X^2 + 12.99X + 11.02$	0.57	<0.001
ILA	$Y = -3.74X^2 + 11.88X + 6.15$	0.56	<0.001
S/D			
MRA	$Y = 3.72X^2 - 9.54X + 8.84$	-0.68	<0.001
SA	$Y = 1.88X^2 - 5.24X + 6.26$	-0.62	<0.001
ILA	$Y = 0.65X^2 - 2.04X + 3.98$	-0.52	<0.001
PI			
MRA	$Y = 0.31X^2 - 1.19X + 2.22$	-0.43	<0.001
SA	$Y = 0.12X^2 - 0.69X + 1.79$	-0.39	<0.001
ILA	$Y = 0.08X^2 - 0.39X + 1.33$	-0.36	<0.001
RI			
MRA	$Y = 0.12X^2 - 0.38X + 0.93$	-0.73	<0.001
SA	$Y = 0.08X^2 - 0.28X + 0.85$	-0.65	<0.001
ILA	$Y = 0.04X^2 - 0.18X + 0.74$	-0.53	<0.001

资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用独立样本 t 检验比较男性与女性儿童的年龄、BSA 及各项血流参数的差异,以及左侧与右侧肾动脉血流参数的差异;采用 Pearson 相关分析评价各肾动脉血流参数与 BSA 的相关性;各级肾动脉血流参数的比较采用单因素方差分析;随机抽取 30 名儿童测量肾 SA 的 RI,采用 Pearson 相关和 Bland-Altman 分析法进行重复性检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 各项参数比较 男性与女性儿童的年龄、BSA、肾动脉血流参数以及左侧与右侧肾动脉各项参数差异均无统计学意义(P 均 > 0.05)。正常儿童的年龄与 BSA 呈正相关($r = 0.96, P < 0.01$),相关方程为 $Y = 0.006X + 0.33$ (图 2);BSA 与肾动脉血流速度及 RI 参数分别呈正相关与负相关性(P 均 < 0.05),与 AT 无相关($P > 0.05$,表 1~4)。肾动脉血流速度和 RI 以 MRA、SA、ILA 依次递减($P < 0.05$),其中 V_s 下降分别为 55%、43%, V_m 下降 51%、38%;各节段肾动脉 AT 差异无统计学意义($P > 0.05$,表 5)。MRA、SA、ILA 的 RI 与 BSA 的相关性见图 3。

2.2 重复性检验 Pearson 相关分析显示观察者内部

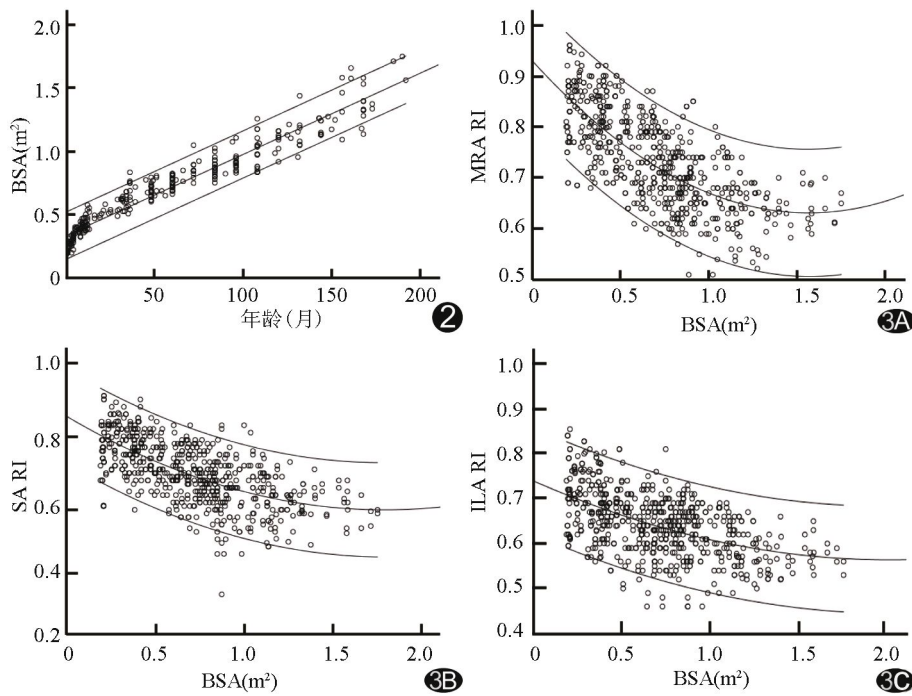


图 2 正常儿童年龄与 BSA 呈正相关 图 3 MRA(A)、SA(B)、ILA(C) 的 RI 与 BSA 的相关性

($r=0.98, P<0.001$) 及观察者之间 ($r=0.95, P<0.001$) 具有良好的相关性; *Bland-Altman* 分析显示重复性良好, 观察者内部测量差值及 95% 可信区间分别为 $0.006\pm0.042, -0.036\sim0.048$ 。观察者间测量差值及 95% 可信区间分别为 $-0.002\pm0.036, -0.038\sim0.034$ 。

3 讨论

本研究显示正常儿童肾动脉血流频谱与成人相似, 呈低阻力型频谱, 其典型波形可分为 4 个阶段: 收

缩期快速上升的陡坡、舒张早期逐渐下降的斜面、舒张中末期平缓下降、血流持续通过。经频谱可以测得血流动力学参数包括 $V_s, V_d, V_m, S/D, PI, RI, AT$, 这些参数可以反映肾动脉的顺应性和血管弹性及阻力变化^[8]。

本研究结果显示正常儿童肾动脉多普勒参数在男性与女性、左侧与右侧间差异均无统计学意义, 与以往研究^[7] 结果一致。本研究儿童肾动脉的血流速度依 MRA、SA、ILA 递减。Deeg 等^[9] 的研究也发现肾动脉血流速度由 MRA 到 SA 下降约 30%, 由 SA 到 ILA 下降约 30%。既往研究^[5-7, 10-11] 对各级肾动脉的选择各不相同。本研究选择 MRA、SA、ILA 分别进行检测,

发现三级肾动脉血流速度范围不同, 均应常规检测, 如仅测量某一段肾动脉, 则有一定局限性。ILA 较细小, 不易显示, 受呼吸运动的影响较大; 而 MRA 受胃肠道气体干扰显像较困难, 易受取样位置及角度的影响; SA 易显示, 受呼吸及体位等因素的影响相对较小, 因此在声窗条件受限时, 首选 SA 检测。Lin 等^[5] 也认为 SA 是除 MRA 之外肾血管树的最低端, 较 ILA 能更好地反映肾实质病变情况, 应为检测儿童肾动脉血流

表 2 不同 BSA 正常儿童 MRA 多普勒超声测量结果 ($\bar{x}\pm s$)

BSA(m ²)	MRA(条)	V _s (cm/s)	V _d (cm/s)	S/D	PI	RI	V _m (cm/s)	AT (ms)
0.19~0.35	112	62.10±19.26	10.34±4.43	6.55±2.38	1.86±0.65	0.83±0.07	29.33±8.38	42.64±10.00
0.36~0.50	98	70.92±18.07	13.39±4.76	5.70±2.14	1.85±0.60	0.81±0.06	32.28±9.11	40.79±8.07
0.51~0.80	188	89.23±17.79	23.62±6.74	4.01±1.15	1.60±0.58	0.73±0.07	43.12±10.77	43.66±8.11
0.81~1.10	146	90.05±16.86	28.29±6.80	3.31±0.81	1.36±0.33	0.68±0.06	46.83±10.40	44.53±8.00
1.11~1.40	74	88.07±13.81	31.56±5.69	2.84±0.41	1.19±0.22	0.64±0.05	48.12±8.93	44.22±5.53
1.41~1.80	20	94.50±12.24	33.62±3.41	2.86±0.39	1.15±0.21	0.64±0.04	54.01±6.84	47.50±5.07

表 3 不同 BSA 正常儿童 SA 多普勒超声测量结果 ($\bar{x}\pm s$)

BSA(m ²)	SA(条)	V _s (cm/s)	V _d (cm/s)	S/D	PI	RI	V _m (cm/s)	AT (ms)
0.19~0.35	112	28.09±9.01	6.04±2.22	5.03±1.71	1.59±0.48	0.78±0.07	14.58±4.78	43.52±9.29
0.36~0.50	98	31.33±9.47	7.25±2.54	4.53±1.26	1.56±0.42	0.76±0.06	16.00±5.39	40.12±8.57
0.51~0.80	188	36.80±10.48	10.82±3.50	3.52±0.80	1.42±0.45	0.70±0.06	19.31±6.17	44.26±6.73
0.81~1.10	146	40.57±11.11	13.69±4.26	3.08±0.75	1.23±0.34	0.66±0.07	22.46±6.78	43.21±6.88
1.11~1.40	74	45.18±8.77	17.06±3.75	2.69±0.41	1.09±0.20	0.62±0.06	26.05±5.93	42.49±6.44
1.41~1.80	20	49.41±6.34	19.26±3.97	2.61±0.31	1.05±0.16	0.61±0.04	29.14±4.94	45.50±7.18

表 4 不同 BSA 正常儿童 ILA 多普勒超声测量结果($\bar{x} \pm s$)

BSA(m ²)	ILA(条)	V _s (cm/s)	V _d (cm/s)	S/D	PI	RI	V _m (cm/s)	AT (ms)
0.19~0.35	112	15.55±4.11	4.68±1.28	3.51±0.90	1.24±0.31	0.70±0.07	8.98±2.35	41.00±10.02
0.36~0.50	98	17.68±5.83	5.51±1.86	3.27±0.70	1.19±0.25	0.68±0.06	10.23±3.34	42.21±9.48
0.51~0.80	188	21.67±5.71	7.72±1.89	2.84±0.52	1.09±0.26	0.64±0.06	12.86±3.32	44.25±8.04
0.81~1.10	146	22.29±5.15	8.24±2.02	2.73±0.41	1.06±0.21	0.63±0.06	13.34±3.33	45.50±7.89
1.11~1.40	74	24.34±4.81	10.01±1.64	2.42±0.29	0.94±0.12	0.58±0.05	15.12±3.14	41.70±8.23
1.41~1.80	20	25.53±4.51	10.82±1.85	2.37±0.19	0.91±0.11	0.57±0.03	16.20±2.40	44.05±5.86

表 5 正常儿童各级肾动脉多普勒超声测量结果的比较($\bar{x} \pm s$)

肾动脉分级	V _s (cm/s)	V _d (cm/s)	S/D	PI	RI	V _m (cm/s)	AT (ms)
MRA	81.87±20.64	22.02±9.74	4.40±2.10	1.57±0.56	0.73±0.09	40.80±12.24	43.27±8.28
SA	36.66±11.51	11.08±5.12	3.72±1.33	1.38±0.44	0.70±0.08	19.78±7.12	42.93±7.72
ILA	20.55±6.01	7.33±2.53	2.94±0.69	1.10±0.26	0.64±0.07	12.25±3.75	43.35±8.71
F 值	3.251	875.905	153.917	179.377	200.241	1.951	0.463
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.630

的首选部位。

儿童肾各级动脉 RI 随着年龄增长而逐渐减低,以新生儿最高,且 ILA、SA、MRA 的 RI 逐渐增高^[9-10]。国内外研究^[7-8]已经证实肾动脉 RI 随年龄的变化是肾脏不断发育成熟和血管活性物质调节的结果。新生儿肾脏尚未形成成熟的排泄和体液调节功能,因入球小动脉的近球细胞的内皮细胞肿胀而发生功能性梗阻,血流阻力高于成人;随后肿胀逐渐消失,入球小动脉开放,血流阻力连续降低,约在 2 岁趋于成熟、稳定。血浆活性肾素水平越高,肾血管阻力越大。肾素血管紧张素系统在出生时激活,随年龄增长而逐渐下降,约 8 岁以后接近成人水平,RI 趋于稳定。多普勒超声检测儿童肾动脉 RI 一直受到重点关注。Kuzmic 等^[6]认为,从新生儿、婴幼儿到儿童,RI 呈下降趋势,6 岁以上儿童肾动脉 RI 下降达成人水平;但也有研究^[5]发现到 10 岁时 RI 才趋于稳定,逐渐与成人一致。本研究结果与 Lin 等^[5]的结论一致,即儿童各年龄段的 RI 有较大差异,并且 MRA 与 SA、ILA 均有不同,应针对不同年龄、采用不同级别肾动脉的 RI 正常参考值,以更客观地反映肾脏血流动力学变化。

除 RI 外,肾动脉 S/D、AT、PI 也是反映血管阻力变化的重要指标。Kohler 等^[12]认为可利用 S/D 诊断无症状肾动脉狭窄。AT 在肾动脉狭窄的诊断中有重要意义,Burdick 等^[13]发现肾动脉狭窄时 AT 显著增大,诊断敏感度达 89%。PI 是利用平均速度计算所得,理论上应较 RI 与 S/D 更能客观反映肾血管血流情况;但目前相关研究尚少。本研究结果显示正常儿童 PI 随年龄增长逐渐减低,有待今后进一步进行深入研究。

建立儿童肾动脉血流参数正常参考值范围对小儿肾脏实质及肾血管疾病的临床诊治有重要意义。尿路梗阻时,肾盂内压力升高,在一系列血管活性因子的作用下,肾血管收缩、阻力增加;因此,肾积水时,RI 可以鉴别肾集合系统梗阻与非梗阻性扩张。Brkljacic 等^[1]认为急性泌尿系梗阻患儿的 RI 及双侧肾脏 RI 指数比值较无梗阻肾积水患儿升高,以 RI≥0.7 诊断急性梗阻的敏感度为 70%,特异度为 92%。儿童慢性肾衰竭导致肾脏血流动力学改变。研究^[14]证明 RI 与肾小动脉硬化、肾小管间质及血管改变相关,RI 可以作为预测疾病转归的重要指标,并有助于临床密切观察病情。RI 还可以反映儿童糖尿病肾病引起的早期肾脏血流动力学变化。Abd El Ghaffar 等^[3]研究显示糖尿病患者 RI、PI 均显著高于正常对照组。肾动脉血流动力学指标是诊断肾动脉狭窄的重要依据。Brun 等^[15]研究超声诊断小儿肾动脉狭窄的价值,发现肾动脉狭窄患儿 V_s 显著高于正常儿童。另外,还可以观察 AT、V_s 与近肾动脉开口处腹主动脉流速比值,肾内动脉血流频谱形态,SA 峰值流速、RI、MRA 与 ILA 峰值流速比等。

正常儿童肾动脉血流参数随年龄增长而变化,但同龄儿童受遗传、营养状态等影响,身高、体质量有较大差异。近年来,越来越多的研究更注重不同 BSA 下正常参考值的建立,以消除同年龄组身高、体质量对测量结果的影响。本组正常儿童年龄与 BSA 高度相关,建立了不同 BSA 下各级肾动脉多普勒超声测量的正常参考值,结果表明肾动脉血流参数与 BSA 有高度相关性,可以为小儿肾脏及肾血管疾病的诊断及治疗提供依据。

[参考文献]

- [1] Brkljacic B, Kuzmic AC, Dmitrovic R, et al. Doppler sonographic renal resistance index and resistance index ratio in children and adolescents with unilateral hydronephrosis. *Eur Radiol*, 2002, 12(11):2747-2751.
- [2] Okada T, Yoshida H, Iwai J, et al. Pulsed doppler sonography of the hilar renal artery: Differentiation of obstructive from nonobstructive hydronephrosis in children. *J Pediatr Surg*, 2001, 36(3):416-420.
- [3] Abd El Ghaffar S, El Kaffas K, Hegazy R, et al. Renal Doppler indices in diabetic children with insulin resistance syndrome. *Pediatr Diabetes*, 2010, 11(7):479-486.
- [4] Pelliccia P, Savino A, Cecamore C, et al. Early changes in renal hemodynamics in children with diabetes: Doppler sonographic findings. *J Clin Ultrasound*, 2008, 36(6):335-340.
- [5] Lin GJ, Cher TW. Renal vascular resistance in normal children—a color Doppler study. *Pediatr Nephrol*, 1997, 11(2):182-185.
- [6] Kuzmic AC, Brkljacic B, Ivankovic D, et al. Doppler sonographic renal resistance index in healthy children. *Eur Radiol*, 2000, 10(10):1644-1648.
- [7] 郑敏, 杨敏, 李春梅, 等. 学龄儿童正常肾脏彩色多普勒超声血流动力学观察. *中国医学影像技术*, 2003, 19(4):447-449.
- [8] Rawashdeh YF, Djurhuus JC, Mortensen J, et al. The intrarenal resistive index as a pathophysiological marker of obstructive uropathy. *J Urol*, 2001, 165(5):1397-1404.
- [9] Deeg KH, Wörle K, Wolf A. Doppler sonographic estimation of normal values for flow velocity and resistance indices in renal arteries of healthy infants. *Ultraschall Med*, 2003, 24(5):312-322.
- [10] Murat A, Akarsu S, Ozdemir H, et al. Renal resistive index in healthy children. *Eur J Radiol*, 2005, 53(1):67-71.
- [11] Cleary GM, Higgins ST, Merton DA, et al. Developmental changes in renal artery blood flow velocity during the first three weeks of life in preterm neonates. *J Pediatr*, 1996, 129(2):251-257.
- [12] Kohler TR, Zierler RE, Martin RL, et al. Noninvasive diagnosis of renal artery stenosis by ultrasonic duplex scanning. *J Vasc Surg*, 1986, 4(5):450-456.
- [13] Burdick L, Airoidi F, Marana I, et al. Superiority of acceleration and acceleration time over pulsatility and resistance indices as screening tests for renal artery stenosis. *J Hypertens*, 1996, 14(10):1229-1235.
- [14] Ikee R, Kobayashi S, Hemmi N, et al. Correlation between the resistive index by Doppler ultrasound and kidney function and histology. *Am J Kidney Dis*, 2005, 46(4):603-609.
- [15] Brun P, Kchouk H, Mouchet B, et al. Value of Doppler ultrasound for the diagnosis of renal artery stenosis in children. *Pediatr Nephrol*, 1997, 11(1):27-30.

《医学影像设备与工程》已出版

由甘泉、王骏主编的高等医学院校教材《医学影像设备与工程》由江苏大学出版社出版发行 (ISBN: 978-7-81130-375-9)。该书邀请院校、医院及相关企业的有关专家以及临床工程的一线人员组成编委会, 内容涵盖了医学影像设备结构、原理、电路分析、故障检修、质量控制等 17 个章节, 本书在对传统知识进行梳理的基础上, 增加了医学影像设备的最新信息, 力求在内容上与新设备、新技术同步并与临床接轨。

该书图文并茂, 约 60 万字, 330 页, 适合于医学影像诊断、医学影像技术、生物医学工程、医疗器械等专业使用。

欲购此书者请联系信箱: ganquan5706@163.com

