

论著·临床研究

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2022.04.009

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20211029.1647.018.html\(2021-11-01\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20211029.1647.018.html(2021-11-01))

脓毒症休克患者肾阻力指数的影响因素分析*

付 优,何 聪,葛 晨,白银箱,张 娜,赵鹤龄[△]

(河北省人民医院重症医学科,石家庄 050051)

[摘要] **目的** 分析影响脓毒症休克患者肾阻力指数(RRI)的因素。**方法** 前瞻性观察研究,选取该院重症医学科 2017 年 11 月至 2018 年 10 月连续收治的脓毒症休克患者 117 例,以 RRI 值是否 ≥ 0.74 分为高 RRI 组(RRI 值 ≥ 0.74)和低 RRI 组(RRI 值 < 0.74),比较两组患者的性别、年龄、基础疾病、感染部位、急性生理和慢性健康状况评分 II (APACHE II 评分)、序贯器官功能衰竭评分(SOFA)、血流动力学指标[心率、收缩压、舒张压、平均动脉压(MAP)、中心静脉压、心脏指数]、去甲肾上腺素用量及实验室指标,发生急性肾损伤(AKI)的比例、需肾脏替代治疗(RRT)的比例、重症监护室(ICU)住院时间、ICU 死亡率、28 d 死亡率等。采用 logistic 回归分析确定脓毒症休克患者 RRI 的影响因素。**结果** 剔除 10 例患者,最终纳入 107 例,其中高 RRI 组 42 例,低 RRI 组 65 例。两组年龄、高血压患者百分比、APACHE II 评分、SOFA、舒张压、MAP、ICU 死亡率、28 d 死亡率有明显差异($P < 0.05$)。单因素 logistic 回归分析发现,年龄、高血压、APACHE II 评分、SOFA、舒张压、MAP 与 RRI 有关。将以上因素纳入多因素 logistic 回归分析,结果显示,年龄[OR = 1.068, 95% CI (1.024, 1.113), $P = 0.002$]、MAP[OR = 0.932, 95% CI (0.879, 0.988), $P = 0.043$]为脓毒症休克患者 RRI 的影响因素。**结论** 年龄、MAP 为脓毒症休克患者 RRI 的影响因素。

[关键词] 脓毒症休克;急性肾损伤;肾阻力指数;危险因素;超声检查**[中图分类号]** R459.7;R692**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2022)04-0584-06

Analysis of the influencing factors of renal resistive index in patients with septic shock*

FU You, HE Cong, GE Chen, BAI Yingxiang, ZHANG Na, ZHAO Heling[△]

(Intensive Care Unit, Hebei General Hospital, Shijiazhuang, Hebei 050051, China)

[Abstract] **Objective** To explore the factors impacting renal resistive index (RRI) in patients with septic shock. **Methods** A total of 117 patients with septic shock in the intensive care unit (ICU) of this hospital were continuously included in the prospective observational study from November 2017 to October 2018. Based on whether the value of RRI was equal to or greater than 0.74, the patients were divided into the high RRI group (patients with an RRI ≥ 0.74) and the low RRI group (patients with an RRI < 0.74). A comparison of sex, age, baseline diseases, infection sites, acute physiology and chronic health evaluations II score (APACHE II score), sequential organ failure assessment score (SOFA score), hemodynamic parameters [heart rate, systolic pressure, diastolic pressure, mean arterial pressure (MAP), central venous pressure, cardiac index], the dosage of norepinephrine and laboratory indicators, percentage of cases with acute kidney injury (AKI), percentage of cases requiring renal replacement therapy (RRT), length of ICU stay, ICU mortality, 28-day mortality between the two groups were compared. A logistic regression analysis was used to determine the factors influencing RRI in patients with septic shock. **Results** Ten patients were excluded from the study. And a total of 107 patients were eventually included, including 42 cases in the high RRI group and 65 cases in the low RRI group. There were statistically significant differences in patients' age, percentage of patients with hypertension, APACHE II score, SOFA score, diastolic pressure, MAP, ICU mortality and 28-day mortality between the two groups ($P < 0.05$). The results of univariate logistic regression analysis showed that RRI was significantly correlated with patients' age, hypertension, APACHE II score, SOFA score, diastolic pressure and MAP ($P < 0.05$). After including the above variables in multivariate logistic regression analysis, the results found

* 基金项目:河北省医学科研重点课题计划项目(20180155)。 作者简介:付优(1987—),主治医师,硕士,主要从事急性肾损伤的研究。

[△] 通信作者, E-mail: zhhelings@sina.com。

that patients' age [$OR=1.068, 95\%CI(1.024, 1.113), P=0.002$] and MAP [$OR=0.932, 95\%CI(0.879, 0.988), P=0.043$] were independent factors of RRI in patients with septic shock. **Conclusion** Age and MAP are the influencing factors of RRI in patients with septic shock.

Key words septic shock; acute kidney injury; renal resistive index; risk factor; ultrasonography

急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)是重症患者常见的并发症之一,发病率可高达 50%,显著增加了患者的死亡率及经济负担,因此,早期诊断和预防 AKI 十分重要^[1]。近年来随着床旁超声技术在重症患者中的广泛应用,研究者发现肾阻力指数(renal resistive index, RRI)在预测 AKI 的发生、严重程度及转归方面具有一定作用^[2-3]。然而,一些研究对 RRI 预测 AKI 的能力并不肯定^[4-5]。造成这种矛盾的原因之一是 RRI 的影响因素众多,如年龄、心率(heart rate, HR)、氧和二氧化碳等,且不同背景及人群的因素不一致^[6-7]。但这些研究大多为非重症患者,对于重症患者尤其是脓毒症休克患者,由于伴有炎症反应及血流动力学不稳定,本身 RRI 值比非重症患者高^[8],其 RRI 是否受其他因素的影响尚不明确。因此,本研究的目的是寻找影响脓毒症休克患者 RRI 的因素,以更好地利用 RRI 预测 AKI。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究为前瞻性临床观察研究。选取 2017 年 11 月至 2018 年 10 月本院重症医学科连续收治的脓毒症休克患者。入选标准:(1)年龄 ≥ 18 岁;(2)预计住重症监护室(ICU)时间大于或等于 24 h;(3)符合 Sepsis3.0 确诊脓毒症休克标准,即感染或疑似感染患者且序贯器官功能衰竭评分(sequential organ failure assessment, SOFA)急性增加 ≥ 2 分,伴有持续性低血压,虽经恰当的输液复苏,仍然需要应用血管收缩药物以维持平均动脉血压(mean arterial pressure, MAP) ≥ 65 mm Hg 及血清乳酸大于或等于 2 mmol/L^[9]。排除标准:(1)孕妇;(2)已经存在 AKI 或 AKI 恢复期者;(3)慢性肾脏病(肾小球滤过率小于 30 mL \cdot min⁻¹ \cdot 1.73 m⁻²)者;(4)明确有肾动脉狭窄、肾实质损伤者;(5)持续心律失常无法进行肾脏超声测量者。经医院伦理委员会同意,由于本研究利用床旁无创超声技术,不增加患者的痛苦和费用,超声检查结果不影响最终治疗决策,无须获得家属的知情同意(审批编号:2017 科研伦审第 126 号)。

1.2 方法

1.2.1 临床资料收集

记录患者的年龄、性别、基础疾病(高血压、糖尿病、冠心病、肺部疾病)、来源、感染部位。超声测得 RRI、每搏输出量(stroke volume, SV),并计算心脏指数(cardiac index, CI),记录超声检查时的 HR、收缩

压、舒张压、MAP、中心静脉压(如果患者留置颈内或锁骨下中心静脉导管)、去甲肾上腺素用量等。患者入选时即抽取动静脉血标本,测定血常规(日本希森美康 XN-10 血液分析仪)、血气分析(德国罗氏 cobas b 123 全自动血气电解质生化分析仪)、血肌酐(serum creatinine, sCr)及尿素氮(日本日立 7600-110 全自动生化分析仪)、降钙素原(广州万孚生物技术股份有限公司免疫荧光干式定量检测仪 FS101)等。结合检验结果计算并记录患者第 1 个 24 h 的急性生理和慢性健康状况评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II score, APACHE II 评分)、SOFA。常规每日复查血常规、血气分析、血肌酐及尿素氮。记录每小时尿量、ICU 存活情况、ICU 住院时间及 28 d 存活情况。

1.2.2 测量 RRI

由经过专门重症超声培训的医师完成超声检查,其不参与患者诊疗、不知晓病情。入 ICU 后 24 h 内,在患者血流动力学相对平稳下(不增加血管收缩药剂量及无需快速扩容的情况下 MAP ≥ 65 mm Hg)使用 Philips CX50 型便携式超声仪宽频弧形探头 C5-1 行肾脏超声检查测得 RRI^[10]。常规测量患者右肾,若右侧无法进行则选择左侧,选择叶间动脉或弓状动脉测 RRI,测量 3 次取平均值, $RRI = (\text{收缩期峰值速率} - \text{舒张末期速率}) / \text{收缩期峰值速率}$ 。

1.2.3 CI 计算

使用便携式超声仪相控阵探头 S5-1,在五腔心切面暴露出主动脉根部和左室流出道,采用脉冲多普勒测出左室流出道速度-时间积分(velocity-time integral, VTI),在胸骨旁长轴测得左室流出道直径(D),计算 SV, $SV = VTI \times \pi(D/2)^2$ 。结合 HR、体表面积(body surface area, BSA)计算出 $CI = SV \times HR / BSA$ ^[11]。

1.2.4 AKI 定义

采用 2012 年改善全球肾脏病预后组织(Kidney Disease Improving Global Organization, KDIGO)制订的 AKI 诊断标准^[12],即达到下列之一者:(1)肾功能在 48 h 内急剧下降,表现为 sCr 上升大于或等于 26.5 $\mu\text{mol/L}$;(2)已知或假定肾损伤发生在 7 d 之内, sCr 上升至 \geq 基础值的 1.5 倍;(3)尿量小于 0.5 mL \cdot kg⁻¹ \cdot h⁻¹ 超过 6 h。

1.2.5 分组

根据 LEROLLE 等^[13]观察结果,以测得的 RRI

值是否 ≥ 0.74 分为高 RRI 组(RRI 值 ≥ 0.74)和低 RRI 组(RRI 值 < 0.74)。

1.2.6 观察终点

出现死亡事件、出院、入科第 28 天,以首先出现的终点事件为观察终止时间。

1.3 统计学处理

使用 SPSS20.0 进行统计分析。计量资料采用 Kolmogorov-Smirnov 判断是否符合正态分布,符合正态分布的以 $\bar{x} \pm s$ 表示,非正态分布的采用中位数及其四分位数 [$M(P_{25}, P_{75})$] 表示。满足正态性分布计量资料组间比较采用独立样本 t 检验,非正态分布的计量资料采用 Mann-Whitney 秩和检验。计数资料以例数或百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验。影响因素分析采用多因素 logistic 回归方法。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料

研究期间连续收住脓毒症休克患者共 117 例,有 10 例被排除,其中年龄 < 18 岁 2 例,慢性肾脏病 5 例,持续心律不齐 3 例。107 例研究对象年龄 27~100 岁,平均(70.5 ± 15.0)岁;男 71 例(占 66.4%),女 36 例(33.6%);来自急诊的患者 25 例(23.4%),内科病房 24 例(22.4%),外科病房 8 例(7.5%),手术后患者 50 例(46.7%)。全部患者第 1 个 24 h 的 APACHE II 评分为(16.6 ± 4.9)分,SOFA 为(6.3 ± 2.5)分。全部患者平均 RRI 为(0.73 ± 0.06),其中 AKI 患者共 59 例,非 AKI 患者 48 例,AKI 患者的 RRI 较非 AKI 患者高[(0.74 ± 0.07) vs. (0.71 ± 0.05)], $P = 0.002$ 。

2.2 高 RRI 和低 RRI 组比较

高 RRI 组 42 例,平均 RRI 为 0.79 ± 0.05 ;低 RRI 组 65 例,平均 RRI 为 0.69 ± 0.03 。超声测得两组 RRI 图像见图 1。高 RRI 组患者年龄、APACHE

II 评分、SOFA、ICU 死亡率、28 d 病死率均较低 RRI 组高,差异有统计学意义($P < 0.05$)。高 RRI 组中高血压患者百分比较低 RRI 组高(69.0% vs. 49.2%, $P = 0.043$)。两组间基线资料及预后比较见表 1。

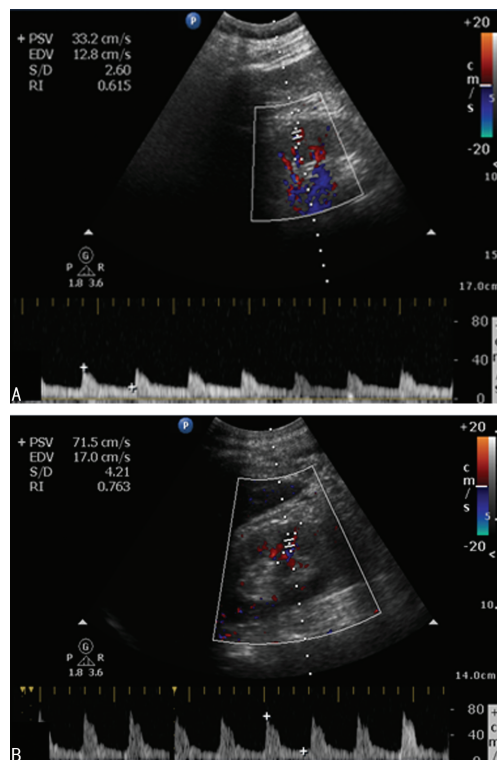


图 1 低 RRI 组图像;B:高 RRI 组图像。

图 1 超声测得 RRI 图像

2.3 两组患者血流动力学及实验室指标比较

比较高 RRI 组 and 低 RRI 组间可能影响 RRI 的血流动力学及实验室指标,结果显示,两组患者舒张压、MAP 有明显差异($P < 0.05$),见表 2。

2.4 脓毒症休克患者 RRI 的影响因素分析

将年龄、高血压、APACHE II 评分、SOFA、舒张压、MAP 纳入多因素 logistic 回归分析,结果显示,年龄、MAP 为脓毒症休克患者 RRI 的影响因素,见表 3。

表 1 两组患者基线资料及预后比较

指标	全部($n=107$)	高 RRI 组($n=42$)	低 RRI 组($n=65$)	$t/\chi^2/Z$	P
性别[男性, $n(\%)$]	71(66.4)	29(69.0)	42(64.6)	0.225	0.636
年龄($\bar{x} \pm s$,岁)	70.5 ± 15.0	78.2 ± 13.0	65.6 ± 14.2	4.639	0
基础病[$n(\%)$]					
高血压	61(57.0)	29(69.0)	32(49.2)	4.088	0.043
冠心病	28(26.2)	12(28.6)	14(21.5)	0.686	0.408
2 型糖尿病	31(29.0)	11(26.2)	20(30.8)	0.260	0.610
肺部疾病	18(16.8)	9(21.4)	9(13.8)	1.048	0.306
感染部位(n)				9.091	0.053
肺部	44	23	21		
腹腔	36	8	28		
泌尿系	11	6	5		
胆道	6	2	4		

续表 1 两组患者基线资料及预后比较

指标	全部(n=107)	高 RRI 组(n=42)	低 RRI 组(n=65)	t/χ ² /Z	P
其他	10	3	7		
APACHE II 评分($\bar{x} \pm s$, 分)	16.6 ± 4.9	17.9 ± 5.0	15.7 ± 4.6	-2.314	0.023
SOFA($\bar{x} \pm s$, 分)	6.3 ± 2.5	7.1 ± 2.8	5.8 ± 2.3	-2.536	0.013
AKI[n(%)]	59(55.1)	28(66.7)	31(47.7)	3.714	0.054
RRT[n(%)]	12(11.2)	6(14.3)	6(9.2)	0.245	0.620
ICU 住院时间[M(P ₂₅ , P ₇₅), d]	4.3(2.6, 7.8)	6.3(2.6, 8.2)	4.0(2.6, 7.2)	-1.372	0.170
ICU 死亡率[n(%)]	28(26.2)	17(40.5)	11(16.9)	7.326	0.007
28 d 病死率[n(%)]	39(36.4)	23(54.8)	16(24.6)	10.010	0.002

RRT:肾脏替代治疗。

表 2 两组血流动力学及实验室指标比较

指标	全部(n=107)	高 RRI 组(n=42)	低 RRI 组(n=65)	t/Z	P
HR($\bar{x} \pm s$, 次/分钟)	101.8 ± 14.0	104.3 ± 12.7	100.2 ± 14.6	-1.481	0.142
收缩压($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	107.9 ± 14.5	107.1 ± 16.3	108.5 ± 13.3	0.470	0.639
舒张压($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	61.4 ± 9.4	57.9 ± 1.0	63.7 ± 10.0	2.943	0.004
MAP($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	75.8 ± 11.0	72.1 ± 11.3	78.3 ± 10.2	3.254	0.002
中心静脉压($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	9.9 ± 4.5	10.1 ± 3.9	9.8 ± 4.9	-0.327	0.744
CI($\bar{x} \pm s$, mL · min ⁻¹ · m ⁻²)	2.8 ± 0.5	2.7 ± 0.4	2.8 ± 0.5	0.663	0.509
去甲肾上腺素用量($\bar{x} \pm s$, μg · kg ⁻¹ · min ⁻¹)	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.2	0.3 ± 0.2	-1.627	0.107
氧合指数($\bar{x} \pm s$)	226.7 ± 100.0	206.5 ± 107.7	239.8 ± 93.2	1.693	0.093
二氧化碳分压[M(P ₂₅ , P ₇₅), mm Hg]	35.2(30.2, 45.0)	36.5(28.6, 45.2)	35.5(30.8, 45.0)	-0.067	0.947
降钙素原[M(P ₂₅ , P ₇₅), ng/mL]	5.54(1.50, 14.77)	4.02(1.54, 12.07)	6.83(1.02, 16.79)	-0.797	0.426
乳酸[M(P ₂₅ , P ₇₅), mmol/L]	2.3(1.6, 2.7)	2.2(1.7, 5.4)	2.3(1.4, 2.4)	-1.201	0.230
肌酐($\bar{x} \pm s$, μmol/L)	89.6 ± 32.4	87.6 ± 28.9	90.8 ± 34.5	0.642	0.645

表 3 logistic 回归分析脓毒症休克患者 RRI 的影响因素

影响因素	单因素分析		多因素分析	
	OR(95%CI)	P	OR(95%CI)	P
年龄	1.078(1.038, 1.120)	<0.001	1.068(1.024, 1.113)	0.002
高血压	2.300(1.018, 5.198)	0.045	1.368(0.538, 3.482)	0.510
APACHE II 评分	1.104(1.011, 1.204)	0.027	1.002(0.937, 1.072)	0.947
SOFA	1.223(1.036, 1.443)	0.017	1.133(0.919, 1.395)	0.242
舒张压	0.943(0.904, 0.983)	0.006	0.991(0.890, 1.104)	0.874
MAP	0.926(0.880, 0.974)	0.003	0.932(0.879, 0.988)	0.043

3 讨 论

RRI 在评估肾脏灌注^[14-15], AKI 的早期诊断、严重程度评估、转归判断及预后方面均有一定作用^[2-3, 13, 16]。CORRADI 等^[14]发现, RRI 可以在血流动力学相对稳定的多发伤患者中预测内脏隐匿性低灌注, RRI 值 > 0.7 对失血性休克具有预测价值。BOSSARD 等^[17]观察到 RRI 值 > 0.74 预测心脏术后患者 AKI 的受试者工作特征(ROC)曲线的曲线下面积(AUC)为 0.91, 灵敏度和特异度分别为 0.85 和

0.94。NINET 等^[2]的一项 meta 分析结果显示, RRI 有助于区分重症患者短暂性 AKI 和持续性 AKI。BODDI 等^[3]分析了 RRI 与重症 AKI 患者死亡之间的关系, 发现高 RRI 值与 ICU 死亡显著相关, OR 值为 1.63。由于 RRI 在重症患者肾功能的评估方面具有重要价值, 研究其影响因素有助于更好地利用 RRI。本研究通过观察 ICU 内脓毒症休克患者的 RRI, 发现年龄、MAP 为 RRI 的影响因素。

RRI 的正常值为 0.6~0.7^[6], 本研究采用 RRI

值 ≥ 0.74 作为 RRI 界值,其原因如下:(1)考虑休克患者 RRI 值会升高^[8],以正常上限值 0.7 作为脓毒症休克 RRI 的界值可能会造成高 RRI 患者明显多于低 RRI 患者;(2)本研究纳入的观察对象均为脓毒症休克患者,LEROLLE 等^[13]的研究发现在脓毒症休克患者中,以入 ICU 第 1 天 RRI >0.74 为界值预测急性肾功能障碍的灵敏度为 78%,特异度为 77%,AUC 为 0.85,故采用 0.74 为界值。

在脓毒症休克患者中,年龄是影响 RRI 的因素之一,这反映了随着年龄的增加,血管动脉硬化程度增加,肾血管的顺应性下降,阻力增加,从而引起 RRI 值增加。这与其在健康人群中的表现一致^[6,18]。同时,本研究高 RRI 组中高血压患者比例较高,进一步说明血管顺应性下降引起 RRI 值升高。

在血流动力学指标中,仅发现 MAP 可影响 RRI,这可能是由于 MAP 的增加引起肾血流的增加,肾血管扩张或使灌注血管的数量增加,从而引起 RRI 值下降^[19,20]。急性循环衰竭患者及健康人群中 RRI 值亦会随着 MAP 的增加而下降^[19,21],然而二者的这种关系会受到是否存在高血压、糖尿病的影响。BELONCLE 等^[22]发现,当患者合并慢性高血压或糖尿病时,MAP 升高可引起 RRI 值的轻微下降,当不存在这两种合并症时,二者的这种关系消失。同样 DEWITTE 等^[5]发现,RRI 与 MAP 只有在在不伴有 AKI 的脓毒症患者中存在线性关系,在伴有 AKI 的患者中这种关联不存在。MAP 与 RRI 的关系不固定,并且未发现其他血流动力学指标对 RRI 的影响,考虑原因可能为:(1)脓毒症休克患者受到炎症介质、镇静等因素影响,受损的肾脏血管收缩受限或无收缩应答,从而弱化了血流动力学变化对 RRI 的影响;(2)一些研究中发现其他血流动力学指标如脉压、中心静脉压、脉搏波动指数对 RRI 产生影响,可能这些血流动力学指标共同参与引起 RRI 的变化,在多种复杂的因素作用下,单一因素对 RRI 的影响可能无法预测^[4-5,8,22]。

此外,一些理化因素可能亦会影响 RRI 值。如 OLIVEIRA 等^[23]发现,在重症患者中乳酸与 RRI 呈正相关,乳酸是代表重症患者疾病严重程度的指标,而与 RRI 的关系则说明 RRI 亦反映了临床疾病的严重性。此外,在急性呼吸窘迫综合征患者中,低氧可引起 RRI 升高^[24]。而在慢性阻塞性肺疾病患者中,二氧化碳分压的急性改变比氧分压更能决定肾血管阻力的变化^[25]。本研究中未发现这些理化因素对 RRI 的影响,考虑可能是由于研究纳入的为脓毒症休克患者,通气氧合障碍及疾病严重程度与既往研究不同。

尽管 RRI 测量的是局部血管血流变化,肾外因素如全身血流动力学及理化因素均对 RRI 产生影响,似

乎这种影响是多样且复杂的。这使得单一依靠 RRI 预测 AKI 或评估肾灌注的价值下降,进一步的研究需结合临床表现或其他监测指标以提高 RRI 的临床应用价值。

本研究存在以下局限:(1)本研究是单中心研究,选取的为脓毒症休克的患者,结果的适用范围受限;(2)未进行 AKI 严重程度的评估及分类,故无法评估其对 RRI 的影响。综上所述,年龄、MAP 为脓毒症休克患者 RRI 的影响因素。由于 RRI 受多种因素的影响,进一步的研究需结合临床表现或其他监测指标以提高 RRI 的临床应用价值。

参考文献

- [1] RONCO C, BELLOMO R, KELLUM J A. Acute kidney injury[J]. Lancet, 2019, 394(10212): 1949-1964.
- [2] NINET S, SCHNELL D, DEWITTE A, et al. Doppler-based renal resistive index for prediction of renal dysfunction reversibility: a systematic review and meta-analysis [J]. J Crit Care, 2015, 30(3): 629-635.
- [3] BODDI M, BONIZZOLI M, CHIOSTRI M, et al. Renal Resistive Index and mortality in critical patients with acute kidney injury[J]. Eur J Clin Invest, 2016, 46(3): 242-251.
- [4] DARMON M, BOURMAUD A, REYNAUD M, et al. Performance of Doppler-based resistive index and semi-quantitative renal perfusion in predicting persistent AKI: results of a prospective multicenter study[J]. Intensive Care Med, 2018, 44(11): 1904-1913.
- [5] DEWITTE A, COQUIN J, MEYSSIGNAC B, et al. Doppler resistive index to reflect regulation of renal vascular tone during sepsis and acute kidney injury[J]. Crit Care, 2012, 16(5): R165.
- [6] PONTE B, PRUIJM M, ACKERMANN D, et al. Reference values and factors associated with renal resistive index in a family-based population study[J]. Hypertension, 2014, 63(1): 136-142.
- [7] SCHNELL D, DARMON M. Bedside Doppler ultrasound for the assessment of renal perfusion in the ICU: advantages and limitations of the available techniques[J]. Crit Ultrasound J, 2015, 7(1): 24.
- [8] ROZEMEIJER S, HAITSMAN M J L G, RÖT

- TGERING J G, et al. Renal resistive index; response to shock and its determinants in critically ill patients[J]. *Shock*, 2019, 52(1):43-51.
- [9] SHANKAR-HARI M, PHILLIPS G S, LEVY M L, et al. Developing a new definition and assessing new clinical criteria for septic shock; for the third international consensus definitions for sepsis and septic shock (sepsis-3)[J]. *JAMA*, 2016, 315(8):775-787.
- [10] SONG J, WU W, HE Y, et al. Value of the combination of renal resistance index and central venous pressure in the early prediction of sepsis-induced acute kidney injury[J]. *J Crit Care*, 2018, 45:204-208.
- [11] 尹万红, 王小亭, 刘大为, 等. 重症超声临床应用技术规范[J]. *中华内科杂志*, 2018, 57(6):397-417.
- [12] KHWAJA A. KDIGO clinical practice guidelines for acute kidney injury[J]. *Nephron Clin Pract*, 2012, 120(4):c179-184.
- [13] LEROLLE N, GUÉROT E, FAISY C, et al. Renal failure in septic shock; predictive value of Doppler-based renal arterial resistive index[J]. *Intensive Care Med*, 2006, 32(10):1553-1559.
- [14] CORRADI F, BRUSASCO C, VEZZANI A, et al. Hemorrhagic shock in polytrauma patients: early detection with renal Doppler resistive index measurements [J]. *Radiology*, 2011, 260(1):112-118.
- [15] ANILE A, FERRARIO S, CAMPANELLO L, et al. Renal resistive index; a new reversible tool for the early diagnosis and evaluation of organ perfusion in critically ill patients: a case report[J]. *Ultrasound J*, 2019, 11(1):23.
- [16] HAITSMAN MULIER J L G, ROZEMEIJER S, RÖTTGERING J G, et al. Renal resistive index as an early predictor and discriminator of acute kidney injury in critically ill patients: a prospective observational cohort study[J]. *PLoS One*, 2018, 13(6):e0197967.
- [17] BOSSARD G, BOURGOIN P, CORBEAU J J, et al. Early detection of postoperative acute kidney injury by Doppler renal resistive index in cardiac surgery with cardiopulmonary bypass [J]. *Br J Anaesth*, 2011, 107(6):891-898.
- [18] LIN Z Y, WANG L Y, YU M L, et al. Influence of age on intrarenal resistive index measurement in normal subjects[J]. *Abdom Imaging*, 2003, 28(2):230-232.
- [19] MOUSSA M D, SCOLLETTA S, FAGNOUL D, et al. Effects of fluid administration on renal perfusion in critically ill patients[J]. *Crit Care*, 2015, 19(1):250.
- [20] DERUDDRE S, CHEISSON G, MAZOIT J X, et al. Renal arterial resistance in septic shock; effects of increasing mean arterial pressure with norepinephrine on the renal resistive index assessed with Doppler ultrasonography[J]. *Intensive Care Med*, 2007, 33(9):1557-1562.
- [21] KUZNETSOVA T, CAUWENBERGHS N, KNEZ J, et al. Doppler indexes of left ventricular systolic and diastolic flow and central pulse pressure in relation to renal resistive index[J]. *Am J Hypertens*, 2015, 28(4):535-545.
- [22] BELONCLE F, ROUSSEAU N, HAMEL J F, et al. Determinants of Doppler-based renal resistive index in patients with septic shock: impact of hemodynamic parameters, acute kidney injury and predisposing factors[J]. *Ann Intensive Care*, 2019, 9(1):51.
- [23] OLIVEIRA R A G, MENDES P V, PARK M, et al. Factors associated with renal Doppler resistive index in critically ill patients: a prospective cohort study[J]. *Ann Intensive Care*, 2019, 9(1):23.
- [24] DARMON M, SCHORTGEN F, LEON R, et al. Impact of mild hypoxemia on renal function and renal resistive index during mechanical ventilation[J]. *Intensive Care Med*, 2009, 35(6):1031-1038.
- [25] SHARKEY R A, MULLOY E M, O'NEILL S J. The acute effects of oxygen and carbon dioxide on renal vascular resistance in patients with an acute exacerbation of COPD [J]. *Chest*, 1999, 115(6):1588-1592.