

肾动脉阻力指数在临床上的应用现状

谭千林, 陈芳, 张蕴滢, 者星炜

昆明医科大学第一附属医院肾内科, 云南 昆明 650000

摘要: 近年来,随着医疗技术的飞速发展,彩色超声多普勒技术水平及临床应用也得到长足发展,其中肾动脉阻力指数(RRI)已成为诊断多种疾病和评估病情的重要手段。测定RRI不仅在肾损伤的风险预测、严重程度评估等方面有重要临床价值,并且具有无创、床旁、廉价、可重复等优点。本文就目前RRI在临床上的应用作一简单概述。

关键词: 肾动脉阻力指数; 彩色超声多普勒; 急性肾损伤; 慢性肾脏疾病; 上尿路梗阻; 肾动脉狭窄

中图分类号: R692 R445.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-8182(2021)04-0549-05

目前的研究发现肾动脉阻力指数(renal artery resistive index, RRI)作为一种敏感指标^[1],可以有效评估肾灌注状态,无论是对高血压、糖尿病并发的肾损害,还是对上尿路梗阻、心脏手术、造影剂、脓毒血症、多发伤等多种病因引起的早期急性肾损伤的风险预测和病情评估以及肾移植、肾动脉狭窄、慢性肾脏病的评估等均具有极高的临床价值^[2-6]。本文对RRI的临床应用现状概述如下。

1 RRI

RRI是利用超声波形分析,间接获取肾血流阻力信息、肾血流灌注状态及血流动力学变化,从而具有评价肾功能的作用。先用彩超测量叶间动脉心收缩期峰值和舒张末期流速,再用计算公式“ $RRI = (\text{收缩期峰值流速} - \text{舒张末期流速}) / \text{收缩期峰值流速}$ ”计算得出,RRI的正常值暂时没有统一标准,一般认为健康成人RRI在0.60左右,上限为0.70^[7]。但近年多数学者认为有年龄因素校正的必要性^[8],婴幼儿(<4岁)、老年人的RRI平均值高于0.70^[9-10],年龄在17~68岁之间者,对RRI的影响很小,可能没有临床价值。同时肾脏本身的疾病、肾血管疾病、肾脏受到压迫、心率、呼吸抑制等肾外因素均可升高RRI,并与血管硬化程度、血液动力学等有关^[9,11-12]。

2 RRI在临床上的应用

2.1 在急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)中的应用 AKI既往称为急性肾衰竭(acute renal failure, ARF),近年来许多临床研究显示轻的急性肾功能减退即可导致严重不良后果,患者死亡率显著增加,故国际上趋向将ARF改称为AKI,期望尽量在病程早期就将其识别,以早期实施干预,提高患者生存率。目前临床上诊断及分级仍是采用肌酐及尿量,但是工作中笔者发现其存在明显的滞后性,对提前诊断AKI十分不利,

故探索新的诊断方法十分必要。

2.1.1 对术后AKI的早期诊断 术后AKI主要见于大型心脏手术后,其发病机制复杂,但主要原因认为是术后心排量减少导致肾脏灌注不足引起肾脏局部缺血损伤所致,Regolisti等^[6]将60例心脏大型手术的患者根据术后是否发生AKI分为两组,结果发现发生AKI组的RRI明显高于未发生AKI组,以此判断RRI可以用于预测术后AKI的发生。Darmon等^[13]研究发现,持续性AKI患者的RRI要明显高于短暂性AKI患者,以RRI>0.795为阈值诊断持续性AKI的敏感性为92%,特异性为85%。Hertzberg等^[14]发现术前RRI<0.7的患者仅有6例(16%)发生AKI,而术前RRI>0.7的患者中有21例(36%)发生AKI,因此,术前高RRI的患者会增加心脏手术后发生AKI的风险。另外有研究发现RRI>0.7的患者术后AKI、肺部感染、脓毒性休克等并发症的发生率显著增加,重症监护时间和机械通气时间延长^[15]。RRI不仅能预测心脏术后AKI的发生,而且能区分AKI是持续性或是短暂性,同时还能预测并发症的发生,但其临床实用性和有效性仍需大样本临床研究证实。

2.1.2 对造影剂肾病(contrast-induced nephropathy, CIN)的预测 CIN指的是血管内注射碘对比剂后发生的一种AKI,随着影像学检测及介入技术的迅猛发展,CIN发病率日益增高,目前指南及专家共识推荐的CIN诊断标准均使用肌酐来判断肾功能损害,但血肌酐不但受多种因素影响,而且其升高往往滞后,不够敏感,因此寻找更敏感的早期诊断指标极为重要。Wybraniec等^[16]对95例拟行经皮冠状动脉介入治疗的冠心病患者行术前RRI检测,发现术后9例发生CIN患者的RRI显著高于其他未发生CIN的患者,Logistic回归分析证实,术前RRI>0.69用于预测CIN的灵敏度和特异度分别是78%和81%。Shakourad等^[17]研究发现,无论何种造影剂,使用后均可导致RRI升高,且低渗造影剂引起的RRI更是显著升高

($P < 0.01$),提示低渗透造影剂对肾损害影响更大。虽然目前CIN发病率较前明显升高,但是若能早发现、早诊断、早治疗,CIN的预后还是相对较好^[18]。前人作了很多相关研究,但目前仍缺乏大规模临床研究验证RRI在CIN中的诊断价值。

2.1.3 在脓毒症所致AKI中的应用 在脓毒血症的临床背景下,肾血管剧烈收缩,引起肾脏血流灌注不足,容易引起肾前性AKI,及时预测具有重要意义。在脓毒症休克患者中,RRI联合中心静脉压(CVP)测定对预测脓毒症所致AKI的作用显著^[19-21]。在一小样本研究($n = 11$)中,在强有力支持治疗下脓毒症休克患者的全身血流动力学中,RRI在确定肾灌注的最佳平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)和稳定血流动力学治疗方面都是有用的^[22]。然而在另外两项针对脓毒症患者的研究中,无论患者是否存在AKI(持续性或暂时性),液体复苏引起的血流动力学变化并不能改变RRI^[22-23]。同时在另一项研究中,脓毒症患者RRI的变化过于有限,无法用于液体治疗和维持肾血流动力学的评价^[24]。因此,在脓毒症的患者中,RRI在AKI患者与非AKI患者之间明显重叠,以及影响RRI的因素较多,从而限制了RRI在评价治疗后的肾脏血流动力学的作用^[24]。

2.1.4 在多发性创伤所致AKI中的应用 在多发性创伤患者中,失血性休克的早期认识和及时治疗是必要的。尽管失血性休克是一种高死亡率的并发症,但有时一些隐性失血性休克难以察觉。目前临床上有一些检测隐性休克的方法,例如监测CVP、超声多普勒检测腔静脉直径、常规监测心率、血压及呼吸频率等,但其准确性均有待进一步提高^[25]。由于肾脏和脾脏微循环在低灌注过程中会发生迅速变化,RRI与脾动脉阻力指数(splenic artery resistance index, SRI)的比较被认为是一种很有前途的、发现多发性创伤隐性出血和预防所谓“隐性”休克的工具^[26]。在另一项对52例多发伤患者的研究中,失血性休克组的平均RRI明显高于非出血组(0.80 vs 0.63),所以平均RRI值大于0.7对失血性休克的发生及进展有很强的预测作用^[27]。

2.2 在慢性肾脏疾病中的应用

2.2.1 对高血压肾损害的早期诊断 高血压肾损害常常发病缓慢,多数情况下于未控制的高血压持续5~10年后发生,其主要病理生理变化是长期高血压使估算的肾小球滤过率(eGFR)增加,肾小囊内压力增加,使肾小球内皮细胞、系膜细胞受到破坏,肾小动脉硬化,管壁增厚、管腔变窄,进而出现肾实质缺血和肾单位萎缩,导致良性小动脉肾硬化症^[28],高血压肾损害进展隐匿,早期识别并加以干预就显得尤为重要。Doi等^[2]发现,联合RRI及预估eGFR值更有利于评估原发性高血压患者早期的肾损害。另外还有研究发现难治性高血压的靶器官损害更严重,尤其是对肾脏的损害,早期肾损害时血肌酐和尿素氮没有变化,但是RRI可以升高^[29]。同时,继发性高血压肾损害的研究也有报道,一些学者对病理证实的醛固酮瘤患者进行RRI检查,发现术前RRI显著高于正常对照组,行肾上腺切除术后1个月,RRI显著降低并保持稳定不变至12个月,研究还发现术前高RRI的患者术后收缩压更高

($P < 0.01$),许多患者行醛固酮瘤根治术后血压仍未达标,可能与长期高血压所致的肾损害有关^[30]。当然RRI也有很大的局限性,只有当系统性血管功能失调出现后,如脉搏波传导速度升高或血流介导的扩张能力下降等,超声多普勒才能识别出高血压对肾内血流的影响^[31-32]。

2.2.2 对慢性肾脏病的病情评估 RRI在慢性肾脏病患者病情评估中的病理生理机制可能是:(1)肾动脉出现粥样硬化后可出现动脉顺应性下降、肾血管阻力增加;(2)间质纤维化对临近血管的压力;(3)肾缺血缺氧后血管收缩及间质纤维化后的毛细血管减少^[33-34]。研究发现,RRI虽然不能反映肾小球的损害,也与小管间质及小血管的损害有关^[32,35]。在对慢性肾脏病患者的首次临床评估中,强烈推荐肾脏多普勒超声,因为RRI的测量可以为这些患者的预后和治疗提供有价值的信息^[36]。

在慢性肾脏病患者中,许多研究者发现 $RRI \geq 0.7$ 与eGFR、蛋白尿或收缩期高血压同样是肾衰竭进展的独立危险因素^[33,37-38]。在一项对281例慢性肾脏病患者进行的4年随访研究认为,慢性肾病患者RRI值在0.70或更高时,可识别出存在实质性不可逆损害的受试者^[33,37]。在162例无肾动脉狭窄的慢性肾脏病患者中, $RRI > 0.80$ 不仅与进展到终末期肾病的风险增加有关,而且与较低的存活率有关^[39]。中度肾损害患者, $RRI \geq 0.79$ 被证实是肾衰竭进展性的有效预测指标(无论是否使用肾素和血管紧张素系统阻断治疗),同时也是心血管事件的不利预后指标^[40]。因此,更多的观点认为RRI是肾脏病进展的理想指标而不是肾脏本身损害的特异性指标。

2.2.3 对糖尿病肾病(diabetic nephropathy, DN)的早期诊断

DN属于慢性病程,预后往往不佳,患者生活质量低下,病死率高,故早期发现DN并给予相应的干预延缓病情进展很有必要。DN的病理改变早期是肾脏体积增大、GFR升高,而后出现肾小球毛细血管基底膜增厚及系膜基质增宽,最终发展至肾小球硬化,甚至是肾单位闭锁。早期DN患者蛋白尿未出现前,根据既往经验是很难发现的,这与早期DN肾小球滤过率反而升高有关,但是这时小管间质的损害可能已经出现,故早期识别尤为重要。有研究已经证实,即使在微白蛋白尿发生之前,新诊断和未治疗的2型糖尿病成人的RRI也比健康对照组高, $RRI > 0.73$ 可以预测DN随时间的发展,而不依赖于蛋白尿^[41-42]。也有研究认为RRI的升高与糖尿病患者的大血管病变有关,而这部分患者的肾微血管尚正常,因此还未出现蛋白尿^[43-44]。当然还有部分糖尿病患者eGFR可下降明显,但是始终未出现蛋白尿或者是仅仅出现微量蛋白尿,此类患者更加容易忽视,究其机制可能与间质纤维化、血管硬化、胆固醇栓子等有关,同时病变主要集中在肾脏的大血管上^[45],此类患者更加适合行超声多普勒检查RRI。

同样,与健康儿童比较,1型糖尿病患儿的RRI明显升高(0.64 ± 0.55 vs 0.58 ± 0.28),其升高是DN的早期指标,且与病程的长短和糖化血红蛋白值^[46-47]呈正相关。Saif等^[48]研究发现,在1型糖尿病患者中,微量蛋白尿的出现迟于肾血流

动力的改变,因而 RRI 的升高即出现在早期。因此,人们普遍认为 RRI 是 DN 的有效“动态”指标,在疾病的早期阶段及其发展过程中都是有用的。

2.2.4 对移植肾的检测和评估 肾移植、血液透析、腹膜透析作为终末期肾脏病的主要治疗手段,为肾脏病患者带来了福音。相对血液透析及腹膜透析而言,接受肾移植的患者相对较少,由于肾源及经济的问题,我国仅有约 10% 左右的患者有机会接受肾移植,所以移植肾的宝贵性不言而喻,那么早期识别移植相关性肾病及排斥反应十分重要。早期使用 RRI 诊断肾移植术后并发症缺乏敏感性和特异性,以 RRI > 0.90 作为阈值判断肾移植术后急性排斥反应的特异性和敏感性仅仅为 67% 和 43%^[49],较低的敏感性和特异性限制了 RRI 的使用。随着医疗水平的提高,RRI 的影响因素逐渐被阐明,Rademacher 等^[50]对一组 601 例肾移植患者的研究显示,RRI 作为独立预测因素,可以很好的预测移植肾失功以及患者的死亡,以 RRI 为 0.80 为界限,< 0.80 肾移植患者移植肾存活率及患者生存率较高,而 ≥ 0.80 则较低。因此,早期监测移植术后 RRI 有助于术后早期预测肾功能的变化、移植肾生存率及患者的病死率^[51]。

3 在其他肾脏疾病中的应用

3.1 对上尿路梗阻的临床诊断 上尿路梗阻最常见的原因是结石,肾功能受损是其严重不良后果,早期识别及加以干预非常重要。既往诊断的金指标是静脉肾盂造影(IVU),其对上尿路梗阻的功能改变及形态改变均有良好提示,但其操作复杂、射线损害、碘过敏、不适于肾功能损害较重及肾绞痛时显影不清等缺陷限制了其在临床的使用。以往有研究发现在梗阻发生的 2~5 h 内能更好的反映梗阻引起的肾动脉阻力变化^[52]。从急性完全性单侧输尿管梗阻的动物模型中发现 RRI 的增高程度与梗阻肾的肾盂内压呈正相关,而对侧肾阻力指数下降:这种差异导致两肾 Δ RRI 的升高^[53]。 Δ RRI 是梗阻肾与对侧肾的 RRI 差值,正常人接近 0,而单侧上尿路梗阻患者的 Δ RRI 值比较接近梗阻肾的 RRI 增高值,因此 Δ RRI 在上尿路梗阻诊断中应该比 RRI 更准确。曹江燕等^[54]研究(该文献中以 RI 代表肾动脉阻力指数)结果显示,重度梗阻组的 Δ RRI 值 > 对照组。 Δ RRI 的 ROC 曲线下面积为 0.985,显著高于 RI 的 0.939,证明 Δ RRI 在上尿路梗阻的诊断中比 RI 有更高的准确性; Δ RRI 的最佳临界值为 0.064,诊断上尿路梗阻的特异性和敏感性分别是 96.6% 和 93.0%。人类 RRI 大于 0.68~0.70 和/或肾间 RRI 差值 > 0.06~0.08 已被证明是诊断急性肾梗阻的可靠方法^[55-56]。此外,RRI 容易被有些药物影响,例如缓解症状的药物(如非甾体抗炎药)会极大地影响 RRI 对梗阻的反应^[57-58]。

3.2 在肾动脉狭窄(renal artery stenosis, RAS)诊断中的应用 临床上将 RAS 分为三类:动脉粥样硬化性、大动脉炎性、纤维肌肉发育不良性。既往其诊断依赖肾动脉造影,但造影价格昂贵、操作麻烦,对于常规筛查而言不便,那么寻找一个可以早期识别 RAS 的方法很有必要。不同类型 RAS 的 RRI 分

布有所不同^[57],同时 RRI 不仅受 RAS 程度及类型的影响,还与年龄、肾功能等有关,Rademacher 等^[39]发现 RAS 患者 RRI > 0.80 与肾功损害密切相关。李建初等^[59]提出以 Δ RRI > 0.80 为诊断的阈值,其诊断 70% 以上狭窄的 RAS 的特异性 80%,敏感性为 69%。但是,需要注意的是, Δ RRI 这一指标不适用于左右两侧的 RAS。有研究比较动脉粥样硬化性 RAS 高血压患者的介入治疗与药物治疗两种方法,从而以确定介入治疗是否有利于血压和肾功能的恢复^[60]。另外有研究证实,RRI > 0.80 表示肾功能不能从 RAS 扩张术中获益^[61],可以以此来预测 RAS 扩张术治疗的疗效。对于肾功能不能在扩张术后获益的患者,不论是 RAS 的这一侧肾还是对侧非 RAS 的肾,其 RRI 均显著升高,表明 RRI 升高是一个显著的预后不良因素^[8],但与对侧肾中的 RRI 相比,RAS 这一侧肾的 RRI 较低,这可能是由于 RAS 侧肾血管舒张明显补偿了狭窄的存在^[61]。

4 结语

RRI 在很多疾病中都有不同程度的应用,但 RRI 受到诸多因素影响,目前仍缺乏大样本多中心临床研究证实,而且未制订统一标准指导 RRI 的应用。但是作为具有无创、床边、简单、廉价、可重复等多方面优点的一种检查,如果能够充分认识和考虑到 RRI 的影响因素,并且更有深度的发掘 RRI 的临床价值,那么 RRI 就能成为一个评价肾脏病变及其他相关疾病的有力工具。

参考文献

- [1] Bahser N, Godehardt E, Hess AP, et al. Examination of intrarenal resistance indices indicate the involvement of renal pathology as a significant diagnostic classifier of preeclampsia [J]. *Am J Hypertens*, 2014, 27(5): 742-749.
- [2] Doi Y, Iwashima Y, Yoshihara F, et al. Response to renal resistive index and cardiovascular and renal outcomes in essential hypertension [J]. *Hypertension*, 2013, 61(2): e23.
- [3] Afsar B, Elsurur R. Comparison of renal resistive index among patients with Type-2 diabetes with different levels of creatinine clearance and urinary albumin excretion [J]. *Diabet Med*, 2012, 29(8): 1043-1046.
- [4] Schnell D, Deruddre S, Harrois A, et al. Renal resistive index better predicts the occurrence of acute kidney injury than cystatin C [J]. *Shock*, 2012, 38(6): 592-597.
- [5] 熊敏君, 王晓源, 吕光宇. 肾动脉血流阻力指数对肝炎肝硬化患者发生肝肾综合症的预测及严重程度评估价值 [J]. *热带医学杂志*, 2020, 20(4): 114-117, 133.
- [6] Regolisti G, Maggiore U, Cademartiri C, et al. Renal resistive index by transesophageal and transparietal echo-Doppler imaging for the prediction of acute kidney injury in patients undergoing major heart surgery [J]. *J Nephrol*, 2017, 30(2): 243-253.
- [7] Le Dorze M, Bouglé A, Deruddre S, et al. Renal Doppler ultrasound: a new tool to assess renal perfusion in critical illness [J]. *Shock*, 2012, 37(4): 360-365.

- [8] 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.
- [9] Tublin ME, Bude RO, Platt JF. The resistive index in renal Doppler sonography; where do we stand? [J]. *Am J Roentgenol*, 2003, 180(4): 885 - 892.
- [10] Terry JD, Rysavy JA, Frick MP. Intrarenal Doppler: characteristics of aging kidneys [J]. *J Ultrasound Med*, 1992, 11(12): 647 - 651.
- [11] Lin ZY, Wang LY, Yu ML, et al. Influence of age on intrarenal resistive index measurement in normal subjects [J]. *Abdom Imaging*, 2003, 28(2): 230 - 232.
- [12] Platt JF, Ellis JH, Rubin JM. Examination of native kidneys with duplex Doppler ultrasound [J]. *Semin Ultrasound CT MR*, 1991, 12(4): 308 - 318.
- [13] Darmon M, Schortgen F, Vargas F, et al. Diagnostic accuracy of Doppler renal resistive index for reversibility of acute kidney injury in critically ill patients [J]. *Intensive Care Med*, 2011, 37(1): 68 - 76.
- [14] Hertzberg D, Ceder SL, Sartipy U, et al. Preoperative renal resistive index predicts risk of acute kidney injury in patients undergoing cardiac surgery [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, 31(3): 847 - 852.
- [15] Giustiniano E, Mecco M, Morengi E, et al. May Renal Resistive Index be an early predictive tool of postoperative complications in major surgery? Preliminary results [J]. *Biomed Res Int*, 2014, 2014: 917985.
- [16] Wybraniec MT, Bożentowicz-Wikarek M, Chudek J, et al. Pre-procedural renal resistive index accurately predicts contrast-induced acute kidney injury in patients with preserved renal function submitted to coronary angiography [J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2017, 33(5): 595 - 604.
- [17] Shakourirad A, Ataefar M, Jozaghi S. Assessment of the effect of radio contrast media on resistive index of renal artery by color Doppler sonography [J]. *Saudi J Kidney Dis Transpl*, 2009, 20(1): 91 - 96.
- [18] Sessa M, Rossi C, Mascolo A, et al. Contrast media-induced nephropathy: how has Italy contributed in the past 30 years? A systematic review [J]. *Ther Clin Risk Manag*, 2017, 13: 1463 - 1478.
- [19] Song JQ, Wu W, He YZ, 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.
- [20] 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.
- [21] Derudder S, Cheisson G, Mazoit JX, 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.
- [22] 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.
- [23] Schnell D, Camous L, Guyomarc'h S, et al. Renal perfusion assessment by renal Doppler during fluid challenge in Sepsis [J]. *Crit Care Med*, 2013, 41(5): 1214 - 1220.
- [24] Lahmer T, Rasch S, Schnappauf C, et al. Influence of volume administration on Doppler-based renal resistive index, renal hemodynamics and renal function in medical intensive care unit patients with septic-induced acute kidney injury: a pilot study [J]. *Int Urol Nephrol*, 2016, 48(8): 1327 - 1334.
- [25] Lerolle N. Please don't call me RI anymore; I may not be the one You think I am! [J]. *Crit Care*, 2012, 16(6): 174.
- [26] Spahn DR, Cerny V, Coats TJ, et al. Management of bleeding following major trauma: a European guideline [J]. *Crit Care*, 2007, 11(1): R17.
- [27] Grün OS, Herath E, Weihrauch A, et al. Does the measurement of the difference of resistive indexes in spleen and kidney allow a selective assessment of chronic kidney injury? [J]. *Radiology*, 2012, 264(3): 894 - 902.
- [28] Hu J, Wang Y, Xiang X, et al. Serum bisphenol A as a predictor of chronic kidney disease progression in primary hypertension: a 6-year prospective study [J]. *J Hypertens*, 2016, 34(2): 332 - 337.
- [29] Prejbisz A, Warcho-Celińska E, Florczak E, et al. Renal resistive index in patients with true resistant hypertension: results from the RESIST-POL study [J]. *Kardiol Pol*, 2016, 74(2): 142 - 150.
- [30] Iwakura Y, Ito S, Morimoto R, et al. Renal resistive index predicts postoperative blood pressure outcome in primary aldosteronism [J]. *Hypertension*, 2016, 67(3): 654 - 660.
- [31] Okura T, Kurata M, Irita J, et al. Renal resistance index is a marker of future renal dysfunction in patients with essential hypertension [J]. *J Nephrol*, 2010, 23(2): 175 - 180.
- [32] Ike R, Kobayashi S, Hemmi N, et al. Correlation between the resistive index by Doppler ultrasound and kidney function and histology [J]. *Am J Kidney Dis*, 2005, 46(4): 603 - 609.
- [33] Sugiura T, Wada A. Resistive index predicts renal prognosis in chronic kidney disease: results of a 4-year follow-up [J]. *Clin Exp Nephrol*, 2011, 15(1): 114 - 120.
- [34] Bigé N, Lévy PP, Callard P, et al. Renal arterial resistive index is associated with severe histological changes and poor renal outcome during chronic kidney disease [J]. *BMC Nephrol*, 2012, 13: 139.
- [35] Ozbek SS, Büyükberber S, Tolunay O, et al. Image-directed color Doppler ultrasonography of kidney in systemic lupus nephritis [J]. *J Clin Ultrasound*, 1995, 23(1): 17 - 20.
- [36] 任嘉铭, 冷振鹏, 杨敬春, 等. 超声造影定量分析技术在慢性肾脏病早期的应用价值 [J]. *中国医药导报*, 2020, 17(16): 143 - 146, 155.
- [37] Parolini C, Noce A, Staffolani E, et al. Renal resistive index and long-term outcome in chronic nephropathies [J]. *Radiology*, 2009, 252(3): 888 - 896.
- [38] 张志坚, 陈涵枝, 刘斌, 等. 肾动脉脾动脉阻力指数与糖尿病肾病的相关性 [J]. *广东医学*, 2018, 39(17): 2594 - 2597.
- [39] Radermacher J, Ellis S, Haller H. Renal resistance index and progression of renal disease [J]. *Hypertension*, 2002, 39(2): 699 - 703.
- [40] Kim JH, Lee SM, Son YK, et al. Resistive index as a predictor of renal progression in patients with moderate renal dysfunction regardless of angiotensin converting enzyme inhibitor or angiotensin receptor an-

- tagonist medication [J]. *Kidney Res Clin Pract*, 2017, 36 (1): 58 - 67.
- [41] Bruno RM, Daghini E, Landini L, et al. Dynamic evaluation of renal resistive index in normoalbuminuric patients with newly diagnosed hypertension or type 2 diabetes [J]. *Diabetologia*, 2011, 54 (9): 2430 - 2439.
- [42] Masulli M, Mancini M, Liuzzi R, et al. Measurement of the intrarenal arterial resistance index for the identification and prediction of diabetic nephropathy [J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2009, 19 (5): 358 - 364.
- [43] 李国蓉. 早期2型糖尿病肾病患者NLR、MPV与肾动脉血流速度及阻力指数的相关性研究[D]. 西宁:青海大学, 2020.
- [44] Kramer HJ, Nguyen QD, Curhan G, et al. Renal insufficiency in the absence of albuminuria and retinopathy among adults with type 2 diabetes mellitus [J]. *JAMA*, 2003, 289 (24): 3273 - 3277.
- [45] Hamano K, Nitta A, Ohtake T, et al. Associations of renal vascular resistance with albuminuria and other macroangiopathy in type 2 diabetic patients [J]. *Diabetes Care*, 2008, 31 (9): 1853 - 1857.
- [46] Youssef DM, Fawzy FM. Value of renal resistive index as an early marker of diabetic nephropathy in children with type-1 diabetes mellitus [J]. *Saudi J Kidney Dis Transpl*, 2012, 23 (5): 985 - 992.
- [47] Abd El Ghaffar S, El Kaffas K, Hegazy R, et al. Renal Doppler indices in diabetic children with insulin resistance syndrome [J]. *Pediatr Diabetes*, 2010, 11 (7): 479 - 486.
- [48] Saif A, Soliman NA, Abdel-Hameed A. Early evaluation of renal hemodynamic alterations in type I diabetes mellitus with duplex ultrasound [J]. *Saudi J Kidney Dis Transpl*, 2010, 21 (2): 295 - 299.
- [49] Perrella RR, Duerinckx AJ, Tessier FN, et al. Evaluation of renal transplant dysfunction by duplex Doppler sonography: a prospective study and review of the literature [J]. *Am J Kidney Dis*, 1990, 15 (6): 544 - 550.
- [50] Radermacher J, Mengel M, Ellis S, et al. The renal arterial resistance index and renal allograft survival [J]. *N Engl J Med*, 2003, 349 (2): 115 - 124.
- [51] Seiler S, Colbus SM, Lucisano G, et al. Ultrasound renal resistive index is not an organ-specific predictor of allograft outcome [J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2012, 27 (8): 3315 - 3320.
- [52] Klahr S, Pukerson ML. The pathophysiology of obstructive nephropathy; the role of vasoactive compounds in the hemodynamic and structural abnormalities of the obstructed kidney [J]. *Am J Kidney Dis*, 1994, 23 (2): 219 - 223.
- [53] Rawashdeh YF, Hørlyck A, Mortensen J, et al. Resistive index: an experimental study of acute complete unilateral ureteral obstruction [J]. *Invest Radiol*, 2003, 38 (3): 153 - 158.
- [54] 曹江燕, 武文, 张江霞, 等. 肾动脉阻力指数在上尿路梗阻诊断中的意义 [J]. *中国超声医学杂志*, 2005, 21 (9): 691 - 694.
- [55] Granata A, Andrulli S, Bigi MQ, et al. Predictive role of duplex Doppler ultrasonography in the diagnosis of acute renal obstruction in patients with unilateral renal colic [J]. *Clin Nephrol*, 2009, 71 (6): 680 - 686.
- [56] Onur MR, Cubuk M, Andic C, et al. Role of resistive index in renal colic [J]. *Urol Res*, 2007, 35 (6): 307 - 312.
- [57] Bertolotto M, Quaia E, Gasparini C, et al. Resistive index in patients with renal colic: differences after medical treatment with indomethacin and ketorolac [J]. *Radiol Med*, 2003, 106 (4): 370 - 375.
- [58] Palatresi S, Longari V, Airoldi F, et al. Usefulness and limits of distal echo-Doppler velocimetric indices for assessing renal hemodynamics in stenotic and non-stenotic kidneys [J]. *J Hypertens*, 2001, 19 (8): 1489 - 1496.
- [59] 李建初, 姜玉新, 秦卫, 等. Tardus-Parvus波形在肾动脉狭窄诊断中的应用研究 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2006 (9): 677 - 680.
- [60] del Conde I, Galin ID, Trost B, et al. Renal artery duplex ultrasound criteria for the detection of significant in-stent restenosis [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2014, 83 (4): 612 - 618.
- [61] Radermacher J, Chavan A, Bleck J, et al. Use of Doppler ultrasonography to predict the outcome of therapy for renal-artery Stenosis [J]. *N Engl J Med*, 2001, 344 (6): 410 - 417.
- [62] Ghadirpour A, Tarzmin MK, Naghavi-Behzad M, et al. Renal vascular Doppler ultrasonographic indices and carotid artery intima-media thickness in diabetic nephropathy [J]. *Med Ultrason*, 2014, 16 (2): 95 - 99.

收稿日期: 2020-05-29 修回日期: 2020-07-09 编辑: 石嘉莹