

# 肾动脉狭窄的超声诊断专家共识

中华医学会超声医学分会血管与浅表学组

肾动脉狭窄 (renal artery stenosis, RAS) 是肾血管性高血压的最常见病因。由于RAS为可治愈性疾病, 故深受临床关注<sup>[1]</sup>。西方国家RAS的病因以动脉粥样硬化为主 (约占90%), 其次为纤维肌性发育不良 (约占10%)<sup>[2]</sup>, 我国RAS的病因构成有所不同, 以动脉粥样硬化最常见 (约占81.5%), 其他依次为多发性大动脉炎 (约占12.7%)、纤维肌性发育不良 (约占4.2%) 及其他病因 (约占1.6%)<sup>[3]</sup>。影像学检查是诊断RAS的重要手段。选择性肾动脉造影是诊断的金标准, 但因其为有创性操作且检查费用较高, 不适合作为RAS的筛查方法; 磁共振血管成像和CT血管成像同样因价格较贵和潜在的造影剂肾毒性而致临床应用受限。

1981年, Greene等首次将多普勒超声用于检测RAS。随着超声技术的不断发展及研究者经验的积累, 目前彩色多普勒超声 (color Doppler ultrasonography, CDU) 已成为RAS的一线影像学筛查方法, CDU不仅具有无创、价廉、便捷、无电离辐射、无造影剂肾毒性损害等优点, 还可以提供肾动脉的血流动力学信息。然而, 由于肾动脉的解剖学特征、血流动力学的复杂性和超声的物理特性等因素的影响, CDU对RAS的检查存在一定的操作者依赖性, 同时相关指南中有关CDU对RAS的诊断标准仍不一致, 因此迫切需要总结国内外已有的研究结果, 建立新的共识以推动CDU诊断RAS的合理应用。

## 一、CDU检查和诊断RAS的特殊性和复杂性

由于肾动脉自身解剖特征、超声检查方式以及RAS血流动力学复杂等因素的影响, CDU检查和

诊断RAS具有一定的特殊性和复杂性, 主要体现在以下几方面:

### (一) 肾动脉解剖学特殊性

肾动脉走行于腹膜后间隙, 位置深在, 直径较细, 常规灰阶超声对血管壁结构和管腔难以清晰显示, 因此应用CDU观察管腔内彩色多普勒血流信号并进行频谱检测成为肾动脉检查的主要内容。然而位置深在也使肾动脉彩色多普勒血流的清晰显示和频谱的准确测量存在一定困难, 继而影响诊断的准确性。此外, 副肾动脉也是引起肾血管性高血压的潜在病因<sup>[4]</sup>, 而且副肾动脉较主肾动脉的管径更细且走行不固定, 其检出更为困难。另外, 肾脏旋转不良等先天性变异也增加了肾动脉的超声检查难度。

### (二) RAS血流动力学改变的复杂性和超声指标的多样性

目前超声评估RAS主要应用血流动力学指标, 即以CDU检测RAS引起的血流动力学改变来间接评估狭窄程度, 而非直接通过显示血管腔形态和内径的改变来判断有无RAS及其程度。血流动力学指标的获取主要源于5个方面的信息: (1) 狭窄处流速增高; (2) 狭窄即后段血流紊乱; (3) 狭窄近心段搏动性改变; (4) 狭窄远心段搏动性改变; (5) 狭窄的间接征象, 如侧支循环的建立<sup>[1]</sup>。但是, 狭窄是否影响血流动力学以及影响程度如何, 还可能受到多种全身性因素和局部因素的影响。全身性因素如心脏功能、上游动脉狭窄等, 局部因素如动脉狭窄段的长度、形状、单一狭窄或多处狭窄以及狭窄远端的血流阻力等。故在超声诊断RAS时不能生搬硬套诊断标准, 要充分考虑各个指标的影响因素及其作用, 根据所获取的诊断指标的可靠性和病例个体特性进行诊断指标的选择, 对超声检查结果进行合理的分析和解释, 减少假阳性和假阴性诊断。

### (三) 超声诊断信息的丰富性

临床上RAS的全面诊断包括病因、解剖和病

DOI: 10.3877/cma.j.issn.1672-6448.2021.06.003

基金项目: 国家自然科学基金 (60971050, 60671026, 61971448); 北京市自然科学基金 (Z111107066411017)

通信作者: 李建初, Email: jianchu.li@163.com; 姜玉新, Email: jiangyuxinxh@163.com

理生理三个方面<sup>[5]</sup>。超声检查通过对肾动脉主干及其上、下游动脉血流动力学指标的检测,再结合灰阶、彩色多普勒血流、超声造影等形态学评估,能够明确RAS的位置、范围、程度及继发性的肾动脉及肾脏形态改变,超声评估结合患者的临床信息,能够为RAS的全面诊断提供多样化的信息,有助于RAS临床治疗方式的选择<sup>[6]</sup>。

总之,CDU检查目前已经成为RAS诊断的首选影像学检查方法,熟悉超声检查RAS的特殊性对于更充分地发挥超声检查的作用和提高超声诊断准确性至关重要。

## 二、RAS的血流动力学超声诊断指标及其临床意义

超声检查RAS的主要目的是发现具有血流动力学显著改变的RAS(内径减少 $\geq 50\%$ )。目前主要通过检测RAS的血流动力学变化,根据各种血流动力学指标进行诊断。这些指标可分为直接指标和间接指标两大类。直接指标从狭窄处获取,反映了动脉狭窄处的直接血流动力学改变;间接指标从肾内动脉[主要为段动脉和(或)叶间动脉]获取,反映狭窄下游动脉的血流动力学改变。

### (一) 直接指标的检测及临床应用评价

理论上,RAS狭窄处的血流动力学变化特点是流速升高,测量指标包括肾动脉收缩期峰值流速(peak systolic velocity, PSV)和舒张末期流速(end diastolic velocity, EDV)。但是,不同个体之间全身血流动力学状态不同、周围脏器血流灌注的影响不同、病变程度和范围不同,导致个体之间PSV差异较大,以致PSV作为独立指标诊断RAS的准确性降低。为排除上述因素的影响,可通过肾动脉PSV与狭窄上游或下游动脉的PSV比值来予以校正,但并非所有的校正比值都可靠。因此,如何获得准确的PSV和可靠的校正指标成为关注的重点。

### 1. 肾动脉PSV

肾动脉PSV是狭窄段高速射流的直接反映,多数研究认为,其诊断准确性高于其他指标<sup>[7-8]</sup>。正确诊断RAS的前提是获得准确的PSV测值。由于肾动脉位置深在,加之肠道气体、肥胖以及切面角度等因素的影响,肾动脉PSV的测量不仅耗时,而且易产生误差。为了获取肾动脉主干狭窄处真实可靠的PSV,采用CDU检查时应注意以下方面:

(1) 彩色多普勒检测条件的调节:适当调节彩色多

普勒血流速度标尺和彩色增益,避免彩色多普勒血流信号外溢,有助于清晰显示肾动脉主干血流或狭窄处射流束。(2) 测量PSV的多普勒检查路径:建议多径路多切面扫查,在确保多普勒取样线与血流方向之间的角度 $\leq 60^\circ$ 的前提下,寻求在尽可能小的角度下,获取肾动脉PSV<sup>[9-10]</sup>。推荐左侧卧位右前腹肋间/肋缘下横切面或侧卧位腰部冠状切面检测。左侧卧位右前腹肋间/肋缘下横切面扫查常能获得较佳的多普勒校正角度,受肠道气体干扰的影响也较小,能够获取真实可靠的右侧肾动脉PSV<sup>[11]</sup>;侧卧位腰部冠状切面可避免肠气干扰,尤其适用于肾动脉中、远段多普勒频谱的采集<sup>[12]</sup>。不推荐在仰卧位腹正中横切面上记录起始段PSV,因为此切面可因多普勒校正角度偏大,导致起始段PSV假性升高。(3) 频谱多普勒取样方法:在获取良好的彩色多普勒血流后,将取样容积置于狭窄段最窄处并缓慢移动,多次取样,于射流束最窄、流速最快处而非狭窄后端流(马赛克样色彩)处取样方能获取真实可靠的PSV<sup>[13-14]</sup>。(4) 多普勒取样角度的校正:应以血流或射流束方向为基准进行多普勒角度校正,尤其对于非对称性狭窄或合并狭窄后动脉瘤患者,应注意鉴别射流方向。

### 2. 肾动脉EDV

研究表明,与肾动脉PSV、肾动脉PSV与腹主动脉PSV比值相比,肾动脉EDV诊断RAS的敏感度、特异度、阳性预测值较低,与动脉狭窄程度、压力梯度相关性亦不及前两者。因此,各项研究中较少涉及EDV。

### 3. 峰值流速前比指标

应用峰值流速前比指标时,理想的狭窄上游测量位置应与狭窄处位于同一血管,但是,大部分RAS位于肾动脉起始段,因此通常以肾动脉开口水平的腹主动脉作为狭窄上游进行比较,即肾动脉PSV与腹主动脉PSV比值(ratio of renal artery PSV to aorta PSV, RAR)。肾动脉起始处与肠系膜上动脉起始处距离约1~2 cm,因此可以在腹主动脉长轴切面选择肠系膜上动脉起始处下方1~1.5 cm处测量腹主动脉PSV,用以计算RAR。RAR可校正个体之间因全身血流动力学状况不同所导致的肾动脉流速测值的差异<sup>[15]</sup>,是常用的诊断指标。但是,当腹主动脉同时存在病变时,RAR指标会出现假阴性或假阳性,此时应审慎采用RAR指标<sup>[16]</sup>。RAR假阴性的主要原因有<sup>[9, 16]</sup>:(1) 腹主动脉狭窄等引

起腹主动脉流速升高；(2)极重度RAS或其他情况导致狭窄处流速无明显升高。RAR假阳性的主要原因有：(1)肾动脉走行迂曲引起的湍流；(2)腹主动脉扩张或心排量低引起的腹主动脉流速减低<sup>[9]</sup>。

#### 4. 峰值流速后比指标

常用的峰值流速后比指标包括肾动脉PSV与肾段动脉PSV比值(ratio of renal artery PSV to renal segmental artery PSV, RSR)和肾动脉PSV与肾叶间动脉PSV比值(ratio of renal artery PSV to renal interlobar artery PSV, RIR)。RAS病变处流速升高而下游流速减低,二者变化趋势相反。因此,理论上峰值流速后比指标能够更敏感地反映动脉狭窄导致的血流动力学变化<sup>[17-18]</sup>,同时可以校正不同个体之间的血流动力学差异。RSR和RIR的选择与狭窄的位置有关,对于中、远段RAS(尤其左肾动脉),狭窄所致射流在段动脉可能尚未完全消失,这意味着段动脉PSV无明显降低,而叶间动脉基本不受射流影响,能更准确地反映狭窄下游血供的改变,此时RIR诊断准确性优于RSR<sup>[8-9]</sup>。

肾动脉PSV与肾动脉PSV比值(ratio of renal artery PSV to renal artery PSV, RRR)的计算与狭窄所处位置有关。对于起始段RAS,RRR计算方法为狭窄处PSV/肾动脉远段PSV,此时RRR可归为峰值流速后比指标。对于肾动脉中远段狭窄(常见于纤维肌性发育不良),RRR计算方法为狭窄处PSV/肾动脉起始段PSV,此时测量点均位于肾动脉主干,受腹主动脉或肾内情况的影响较小,诊断准确性较高<sup>[8]</sup>。

#### 5. 直接指标的选择和应用推荐

各直接指标的应用推荐见表1。

##### (二) 间接指标的检测及临床应用评价

狭窄下游的典型血流动力学改变是出现低

速低搏动性频谱,即小慢波(tardus-parvus waveform)<sup>[7, 19]</sup>,这是RAS导致肾内血流灌注减低的反映。从肾内动脉频谱可获取多个间接指标。

##### 1. 收缩早期加速时间和收缩早期加速度

收缩早期加速时间(acceleration time, AT)的测量从收缩期频谱起始处至收缩早期波峰的顶点处或收缩早期波峰消失处,但当这些特征不能辨认时,测量终止点则选择收缩期频谱最高点<sup>[13, 20-22]</sup>。不同类型肾内动脉频谱收缩早期AT的测量方法如图1所示。

AT易受年龄、心肾功能、血管顺应性、肾内动脉阻力等影响,因此有研究者提出ATR(AT<sub>肾内动脉</sub>/AT<sub>腹主动脉</sub>)这一指标,以校正个体之间AT的差异。

收缩早期加速度(acceleration, AC)测量起点和终止点的设置与AT测量相同。AC的计算方法为:AC=ΔV/ΔT,单位为m/s<sup>2</sup>,其中ΔT=AT。部分研究中使用收缩早期加速度指数(acceleration index, AI)<sup>[23]</sup>,其含义与AC相同。

血流频谱的定量分析研究表明,AT和AC被认为是诊断RAS最有用的间接指标。多个相关研究提出AT的不同阈值(≥0.04、0.065、0.07、0.08、0.10、0.12s),诊断效率的差异也很大(敏感度为41%~95%,特异度为67%~97%)。而对于AC,虽然大多数文献都以≤3m/s<sup>2</sup>作为诊断阈值,但也存在一些不同的观点。Handa等<sup>[24]</sup>研究提出以AC≥3.78m/s<sup>2</sup>和AT≥0.07s为RAS≥50%的诊断标准,其敏感度均约为100%,特异度约为93%和83%。Baxter等<sup>[25]</sup>报道,将AT≥0.07s作为肾动脉主干重度狭窄(RAS≥70%)的诊断阈值,其敏感度为89%,特异度为97%。如果提高AT的诊断阈值,则诊断特异度更高。Motew等<sup>[26]</sup>发现AT≥0.10s诊断RAS≥60%的敏感度仅为32%,而特异度为

表1 RAS的血流动力学超声诊断直接指标的选择和应用推荐

直接指标	应用价值	备注
PSV	多数研究推荐,准确性最高的指标	确保准确测量,避免全身及局部干扰因素,通过峰值流速前比及后比指标校正
EDV	敏感度、特异度较差,不推荐	-
RAR	可校正由全身因素引起的肾动脉PSV异常	腹主动脉存在病变时不推荐使用
RRR	推荐用于肾动脉中远段狭窄	RRR计算方法及诊断阈值均与狭窄位置相关
RSR	推荐用于肾动脉起始处狭窄	RSR有可能受肾动脉中远段狭窄射流的影响,不推荐应用于肾动脉中远段狭窄
RIR	推荐指标	推荐用于RAS狭窄率≥50%的诊断

注:RAS为肾动脉狭窄;PSV为肾动脉峰值流速;EDV为肾动脉舒张末期流速;RAR为肾动脉PSV与腹主动脉PSV比值;RRR为肾动脉PSV与肾动脉PSV比值;RSR为肾动脉PSV与肾段动脉PSV比值;RIR为肾动脉PSV与肾叶间动脉PSV比值;“-”表示无备注项

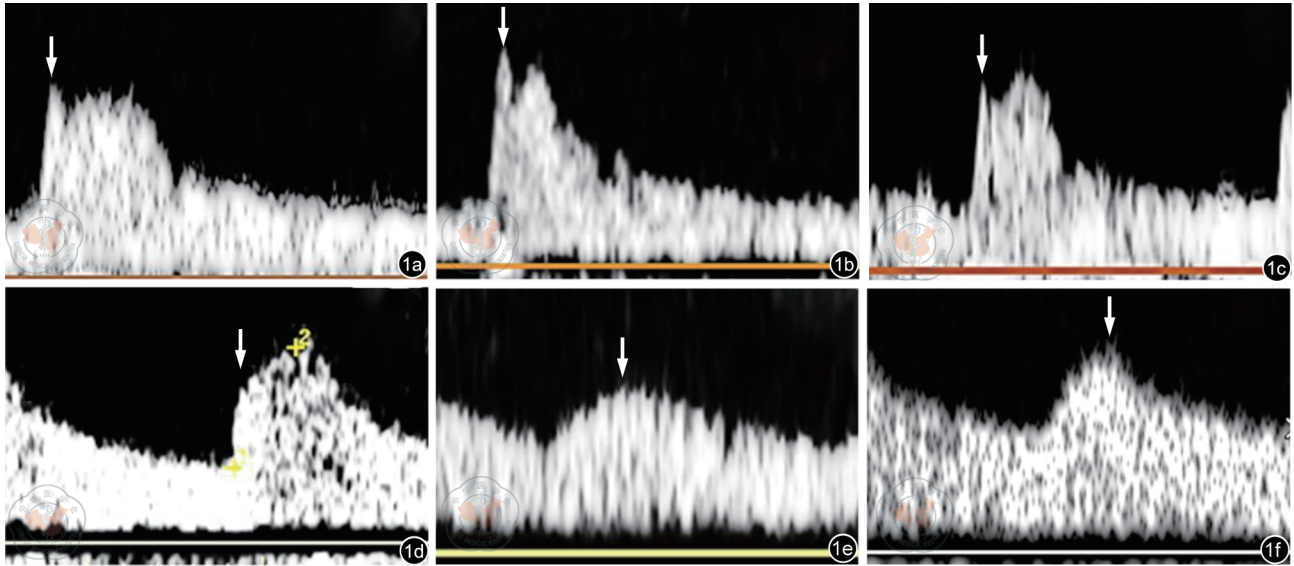


图1 不同类型肾内动脉频谱收缩早期加速时间(AT)的测量方法(箭头所示为AT的测量终点)。图a~d为正常频谱,图a为频谱呈单峰,仅有收缩早期波峰;图b为频谱呈双峰,第一峰大于第二峰;图c为频谱呈双峰,第一峰小于第二峰;图d为频谱仅有顺应性波峰。图e, f为异常频谱,为同侧肾动脉主干狭窄所致,收缩早期波峰消失,呈小慢波,AT测量终点为频谱最高点

100%。2001年, Ripollés等<sup>[27]</sup>提出以 $AC \geq 1 \text{ m/s}^2$ 和 $AT \geq 0.08 \text{ s}$ 为阈值诊断 $RAS \geq 75\%$ ,其敏感度为89%,特异度为99%。Patriquin等<sup>[28]</sup>以 $AC < 4 \text{ m/s}^2$ 检测 $RAS \geq 75\%$ 的敏感度和特异度均为100%。引起上述结果差异的主要原因之一是测量方法不一致,尤其在收缩早期波峰不明显或消失时,常常难以确定收缩早期波峰位点。此外,RAS狭窄分级方法的不同、样本中狭窄程度构成比不同也会造成研究结果的差异。目前对于 $RAS \geq 70\%$ ,多数学者倾向于AT诊断阈值界定为0.07 s,AC的阈值界定为 $3 \text{ m/s}^2$ 。但是,根据临床实践经验,正常AT一般 $< 0.04 \text{ s}$ 。有动物实验研究显示,以 $AT \geq 0.04 \text{ s}$ 诊断中重度RAS(狭窄率 $\geq 50\%$ ),其敏感度为71.4%,特异度为100%<sup>[29]</sup>。因此AT阈值的界定尚需进一步研究和探讨。

## 2. 肾内动脉阻力指数和双侧肾内动脉阻力指数差值

狭窄下游动脉血流频谱“小慢波”的特征之一为阻力指数(resistance index, RI)减低。与AT和AC相比,RI测量简便,可重复性高,实用性强。但RI易受肾内血管阻力的影响,与血管舒缩功能、血管活性药物、微血管病以及急性和慢性肾脏疾病(如急性肾小管坏死、溶血性尿毒症、肾小管间质疾病、梗阻性尿路扩张等)相关的小动脉病变及其他多种因素(患者年龄、心率和血压,主动脉瓣

病变,检查时探头对肾脏压力过大等)均会影响肾内动脉RI<sup>[30]</sup>。因此,目前认为虽然RI的测量较AT、AC更为可靠,但其个体差异较大,目前对于单侧RAS的诊断,更多地应用双侧肾内动脉RI差值,即 $\Delta RI (\Delta RI = RI_{\text{肾内阻力高侧}} - RI_{\text{肾内阻力低侧}})$ 这一指标<sup>[27, 30-32]</sup>。

$\Delta RI$ 升高程度与RAS严重程度相关,但正常动脉与轻度或中度狭窄病变( $RAS < 70\%$ )RI值之间有相当大的重叠,只有当 $RAS \geq 70\%$ 时,RI才显著降低,因此目前多将 $\Delta RI$ 作为诊断 $RAS \geq 70\%$ 的指标。 $\Delta RI$ 的阈值在各研究中有一定差异<sup>[27, 30-32]</sup>,目前比较常用的是以 $\Delta RI \geq 0.05$ 作为诊断 $RAS \geq 70\%$ 的标准。Zeller等<sup>[31]</sup>的研究显示上述标准的诊断特异度为99%,敏感度为77%,阳性预测值和阴性预测值分别为97%和89%。

对于双侧RAS或孤立肾的情况, $\Delta RI$ 不适用。因此,Grupp等<sup>[33]</sup>引入 $\Delta RI_{k-s} (\Delta RI_{k-s} = \text{患侧肾内动脉RI} - \text{脾内动脉RI})$ 这一指标用于评估肾内RI降低的程度。研究结果显示以 $\Delta RI_{k-s} < 0.03$ 为阈值诊断狭窄率 $\geq 50\%$ 的RAS,敏感度为93.3%,特异度为81.2%,阳性预测值为70.0%,阴性预测值为96.2%。但是各种引起脾内RI变化的疾病(如脾亢、肝硬化、各种原因导致的腹腔干狭窄等)和肾实质病变均会对 $\Delta RI_{k-s}$ 产生影响,此时应审慎应用该指标。

### 3. 早期收缩峰消失

肾内动脉多普勒频谱的收缩早期上升支和晚期上升支融合,二者之间无切迹,表示早期收缩峰(early systolic peak, ESP)消失。早期研究认为该频谱特点可作为诊断RAS狭窄率 $>60\%$ 的指标<sup>[9, 23-34]</sup>。该指标的判断存在一定主观性,而且部分正常人肾动脉早期收缩峰不明显,影响了ESP消失这一指标对于RAS诊断的准确性<sup>[55]</sup>。后续Halpern等<sup>[35]</sup>研究显示,ESP消失和多普勒频谱波形分类对于诊断RAS作用有限<sup>[24, 35-36]</sup>。

### 4. 肾内动脉PSV

依据动脉狭窄的血流动力学改变,狭窄下游的肾内动脉PSV表现为减低。Li等<sup>[37]</sup>报道,叶间动脉PSV对RAS $\geq 50\%$ 的诊断效率高,PSV $<15$  cm/s时,其诊断特异度较高(98%),但敏感度很低(30%);PSV $<25$  cm/s时,其诊断敏感度和特异度均为74%,PSV单独使用时对RAS诊断价值有限。肾内动脉PSV可用于计算峰值流速后比指标RIR或RSR,对校正个体之间血流动力学差异有帮助。

### 5. 间接指标获取及测量中应注意的问题

#### (1) 小慢波的假阴性

上述间接指标均基于肾内动脉频谱获得,但除近端狭窄这一因素外,患者年龄、心率、动脉血压和周围血管床阻力等同样会导致肾内波形的变化。重度肾实质性疾病患者的肾实质血管高阻力可使异常的波形假性正常化。Bude等<sup>[36]</sup>研究发现,小慢波上升缓慢的程度主要取决于狭窄后血管壁的顺应性和狭窄程度,如肾动脉狭窄处和肾内测量处之间的血管存在严重的动脉粥样硬化时,因该段血管壁顺应性降低,可导致肾内测量处小慢波不明显甚至频谱波形正常。有研究表明<sup>[22]</sup>,对于老年患者的重度RAS,肾内动脉多普勒超声检查的假阴性结果发生率很高,诊断价值有限。

国外有文献报道卡托普利能够帮助多普勒超声改善RAS的诊断效率<sup>[38-39]</sup>。卡托普利使狭窄远端的肾动脉扩张,从而导致肾内动脉阻力减低,由此RAS患者肾内动脉频谱形态改变更加异常,而肾动脉正常者肾内动脉频谱形态更趋向正常,其有助于鉴别常规肾动脉超声检查时出现的假阳性或假阴性情况。当临床怀疑肾血管性高血压,且直接和(或)间接指标不能明确诊断时,可行卡托普利肾动脉多普勒超声检查,但需注意适应证的选择<sup>[40]</sup>。

#### (2) 获取肾内动脉多普勒频谱的位置

CDU涉及的肾内动脉,通常包括段动脉、叶间动脉。既往的文献多在肾窦处的段动脉取样测量肾内动脉频谱<sup>[19, 25-26, 28, 41-42]</sup>,但是对于肾动脉远端或者段动脉本身狭窄的患者而言,其狭窄下游动脉的频谱改变及检测位置更趋于远端分支。一般来说,肾动脉主干或段动脉狭窄时,肾内叶间动脉已无射流成分,可作为RAS下游的常规测量部位,建议选择肾锥体旁平直的叶间动脉水平进行测量<sup>[20, 37]</sup>。如未能获取满意的叶间动脉多普勒频谱,可用段动脉代替<sup>[19, 41]</sup>。由于叶间动脉为多支,常规应在上、中、下三段及变异支供血区的叶间动脉分别测量多普勒频谱<sup>[9, 37]</sup>。

#### (3) 肾内动脉多普勒频谱的正确获取及测量

获取肾内动脉多普勒频谱时,应通过调节多普勒速度量程使频谱高度占图像比例1/2以上;使用较快的扫描速度获取较宽的频谱,扫描速度设置在40 mm/s左右<sup>[41]</sup>或中档;屏气时尽可能获得至少3个连续相同的波形,选择其中之一进行测量<sup>[19, 21]</sup>;如不能获得3个连续相同的波形,则选择最趋于正常的波形测量<sup>[43]</sup>;房颤患者建议取多个频谱波形测量的平均值。

肾内存在多支叶间动脉,目前对于选取哪一支叶间动脉进行测量尚有争议。有研究认为,肾内动脉各指标多应取上、中、下段频谱测值的平均值<sup>[1]</sup>。本共识建议,观察各个肾段的叶间动脉频谱,选择频谱上升支最倾斜者测量<sup>[17, 42]</sup>;当肾内不同部位动脉分支频谱特征一致时,因肾中部动脉分支的血流与声束之间的夹角相对较小,测值更为准确,因此,建议采用肾中部叶间动脉的多普勒频谱测值进行分析<sup>[17, 19]</sup>。

### 三、RAS超声形态学诊断及其临床意义

RAS超声形态学诊断指的是通过各种超声技术显示肾动脉管腔的形态,确定是否存在管腔狭窄并计算狭窄率[狭窄率=(1-狭窄处残余内径/正常管腔内径) $\times 100\%$ ]。狭窄率 $<50\%$ 为轻度狭窄,50% $\leq$ 狭窄率 $<70\%$ 为中度狭窄,狭窄率 $\geq 70\%$ 为重度狭窄。临床使用的超声形态学评估方法包括常规灰阶成像、二维灰阶血流成像(B-mode blood flow imaging, B-FLOW)、CDU、能量多普勒成像(power Doppler imaging, PDI)及超声造影(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)等。虽然目前超声诊断RAS主要依靠血流动力学指标,但是

形态学评估在RAS诊断中依然起到一定作用。

#### (一) 灰阶超声

灰阶超声可以对双侧肾脏体积和实质回声进行评估,双肾长径差值 $>1.5\text{ cm}$ 可作为形态学指标间接提示肾动脉重度狭窄及慢性闭塞<sup>[2]</sup>。此外,肾动脉管壁上显示强回声斑块或肾动脉呈串珠样改变时,有时可提示RAS的病因<sup>[1]</sup>。

#### (二) CDU

CDU可显示肾动脉血流形态,在管腔内血流显示良好的情况下,狭窄段血流变细及狭窄段高速射流所导致的彩色混叠对RAS的定性诊断及狭窄位置的判断有重要价值,无多普勒血流信号时可诊断闭塞。但是由于彩色多普勒血流信号外溢、管壁震颤等因素的影响,CDU无法准确地进行定量诊断,残留管腔内径测值往往大于实际管腔大小<sup>[44-45]</sup>。此外,肠道气体干扰或声束与血流方向的夹角接近 $90^\circ$ 时,可引起管腔内多普勒血流信号充盈缺失,导致误诊<sup>[1, 43]</sup>。

#### (三) PDI

PDI没有血流方向和入射角度依赖性,可以更敏感地显示细小血管及低速血流信号<sup>[45]</sup>,有助于定性诊断RAS、区分重度狭窄和闭塞、显示侧支血管以及小血管的病变<sup>[1]</sup>。但是PDI不能显示血流性质,同时也存在血流信号外溢的情况,对于RAS的定量诊断帮助不大。

#### (四) B-FLOW

该技术以灰阶的方式来显示血流,依赖红细胞微弱回声的放大信号,虽然可以更好地区分血流与血管壁,显示管腔形态,但对于深部血管尤其是流速较高的动脉管腔形态的显示效果欠佳,对RAS的定性诊断帮助不大<sup>[1]</sup>。

#### (五) CEUS

与常规超声相比,CEUS对血流检测的敏感度更高,可以更好地显示管腔形态,其对于肾动脉及副肾动脉、侧支血管的显示率高于常规超声,对RAS的定性诊断有帮助。造影剂显影不仅可使肾动脉主干全程清晰显示,还可通过造影剂的时间-强度曲线半定量评价肾皮质微血流灌注情况<sup>[46-49]</sup>。肾动脉CEUS检查时需注意以下方面:(1)把控肾动脉造影时相,在动脉期完成肾动脉主干管腔的观察,并测量内径,尽量避开伴行肾静脉;(2)多切面扫查肾动脉主干全程,同时观察肾动脉起始处上、下方有无副肾动脉。在进行CEUS

检查时首选侧腰部冠状切面,在患者平静呼吸时检查,动态显示肾动脉全程,并使主肾动脉起始段走行尽量与声束方向平行。对于常规超声检查显示不满意、血流动力学改变不典型(多发狭窄、弥漫性狭窄、极重度狭窄等)的病例,CEUS检查可提供重要的形态学信息,有助于准确判断狭窄累及范围和狭窄程度,为患者治疗方式的选择提供重要信息<sup>[5]</sup>。但是,对于管腔已经发生重构的RAS患者,形态学指标可能过高估计狭窄率,此时对于RAS的判断需要结合血流动力学指标进行校正。

总之,超声诊断RAS要结合形态学指标、血流动力学指标以及患者临床资料等信息进行综合评估,以得出正确的超声结论。

### 四、RAS超声诊断标准的建立及其临床应用

#### (一) RAS的CDU诊断标准

对于RAS的CDU诊断标准,目前国内外尚未达成广泛一致的意见。总结归纳各个研究中心结果,本共识推荐诊断标准如下<sup>[11, 43]</sup>:(1)中度RAS(狭窄率 $\geq 60\%$ )的诊断标准:肾动脉湍流处峰值流速 $\geq 180\text{ cm/s}$ 或 $\text{RAR} \geq 3$ 。应注意:腹主动脉峰值流速 $< 50\text{ cm/s}$ 时,不宜使用RAR;严重RAS肾动脉峰值流速可在正常范围内;对于狭窄率 $\geq 50\%$ 的RAS,推荐以下标准,肾动脉湍流处 $\text{PSV} \geq 150\text{ cm/s}$ 或 $\text{RIR} \geq 5.5$ 。(2)重度RAS(狭窄率 $\geq 70\%$ )的诊断标准:在结合直接指标的基础上,肾内叶间动脉出现小慢波(表现为收缩早期波消失、频谱低平、收缩早期频谱倾斜)或 $\text{AT} \geq 0.07\text{ s}$ 。(3)肾动脉闭塞的诊断标准:肾动脉主干管腔内既无彩色多普勒血流信号也不能探测到多普勒频谱;肾内动脉频谱表现为小慢波;患侧肾长径 $< 8\text{ cm}$ 可提示肾动脉慢性闭塞。

#### (二) RAS超声诊断标准的临床应用

迄今为止,不同研究中所采用的超声指标其诊断阈值并不一致,同一指标的诊断准确性也有较大差异。因此,在使用上述标准进行诊断时,首先应按照所建立诊断标准的规范化检测方法进行检测,以获得真实可靠且具有可比性的超声测值。其次,由于RAS病因和年龄对CDU诊断均有影响,各种指标也存在各自的影响因素和优缺点,因此要针对具体病例的个体情况,综合应用多种诊断指标进行评估<sup>[7, 11, 19, 42]</sup>。

#### 1. 形态学与血流动力学指标的联合应用

虽然RAS的超声诊断及狭窄程度分级主要依

据血流动力学指标,但血流动力学指标易受血压、心脏疾病、腹主动脉病变及肾脏本身疾病等诸多因素影响,因此肾动脉形态学观察在实际工作中仍具有重要意义。(1)血流动力学指标仅能诊断狭窄率 $\geq 50\%$ 的RAS,而形态学指标可以弥补这一不足,CDU血流亮度的改变及管腔内血流形态的评估有助于血流动力学改变不明显的RAS的诊断。(2)弥漫性狭窄、极重度狭窄、患侧肾萎缩、侧支循环丰富者,PSV不具有参考意义,应综合分析形态学指标和间接指标的表现,如CDU可见细线样血流信号,健侧与患侧肾脏长度之差 $>1.5\text{ cm}$ <sup>[41]</sup>,间接指标提示肾内频谱小慢波改变<sup>[25, 27-28]</sup>等。(3)闭塞段肾动脉无法探及多普勒频谱,使用形态学指标与间接指标相结合可提高诊断率,如肾长径 $<8\text{ cm}$ ,实质回声增高,肾动脉主干管腔内无血流信号,探测不到血流频谱<sup>[12, 25]</sup>,肾内频谱呈小慢波改变等。(4)因血管走行扭曲或受近端高速血流影响使肾动脉PSV升高时,通过对血管内彩色多普勒血流的形态评估,可排除RAS的诊断。(5)对于常规超声诊断困难的病例,可进一步通过CEUS检查进行形态学评估,提高肾动脉主干的显示率和副肾动脉的检出率,从而有助于RAS的全面评估和诊断分级。

### 2. 直接指标与间接指标的联合应用

虽然间接指标在重度RAS诊断中具有重要意义<sup>[7, 19, 42]</sup>,但其难以诊断 $50\% \leq$ 狭窄率 $<70\%$ 的RAS,而且间接指标的诊断准确性易受血流动力学以外的其他因素影响,患者即使存在重度RAS,肾内动脉频谱波形也可正常。此外,间接指标异常仅能提示上游动脉狭窄,不能确定狭窄的位置及范围。因此,间接指标不能单独用于RAS的诊断<sup>[19]</sup>,必须结合形态学评估和直接血流指标诊断RAS。直接指标反映了狭窄所致流速升高的血流动力学特点,可更为准确地判断RAS,但并非所有的RAS都表现为流速升高,如极重度RAS反而会出现流速下降,所以需要将直接与间接指标结合起来应用。

### 3. 介入治疗后超声评估和支架内再狭窄的诊断

随着介入技术的普及,支架置入术已成为肾动脉粥样硬化性狭窄和纤维肌性发育不良引起的RAS的常规治疗方法,支架内再狭窄是支架置入术后的主要并发症之一。

CDU可以直接显示支架、评估支架的通畅性

并识别支架内再狭窄<sup>[50]</sup>。由于支架置入后,动脉顺应性降低,导致支架置入术后肾动脉的PSV升高,因此肾动脉支架内再狭窄的超声诊断标准与未治疗的RAS的标准不同。

支架内再狭窄的超声诊断指标以PSV和RAR为主。对于狭窄率 $\geq 50\%$ 或 $\geq 60\%$ 的病变,分别以PSV $\geq 180$ 、200、250 cm/s作为阈值时,诊断敏感度逐步减低,特异度逐步升高,RAR阈值从2.7至5.3不等<sup>[51-52]</sup>。Chi等<sup>[53]</sup>在一项纳入67例肾动脉支架患者的研究中发现,PSV $\geq 395\text{ cm/s}$ 或RAR $\geq 5.1$ 是预测支架内显著狭窄的最佳指标。由于相关研究相对较少,目前尚未建立公认的CDU诊断标准。

### 五、联合应用影像学检查方法诊断RAS

RAS的全面诊断,应当包括明确病因、明确狭窄的位置和程度以及评估血流动力学变化,通过上述综合评估,可以帮助治疗方式的选择,判断是否需进行血管重建,并预测疗效。

CDU为RAS的一线筛查方法,当成像条件不佳(如体型肥胖、肠气干扰明显、动脉粥样硬化斑块密集、屏气不佳等)导致观察受限,或存在影响结果解读的临床因素时(如心力衰竭、甲状腺功能亢进、主动脉瓣关闭不全、近端主动脉狭窄或动脉瘤等),或者多普勒超声判断 $50\% \leq$ 狭窄率 $<70\%$ 时,均需要进行进一步的影像学评估。评估方法包括CT血管造影(computed tomography angiography, CTA)、增强及非增强的磁共振血管造影(contrast-enhanced and non-contrast-enhanced magnetic resonance angiography, CE MRA and non-CE MRA)、CEUS及肾动脉数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)。

对于肾功能不全的患者,CTA所应用的碘对比剂可能会使对比剂肾病的发生风险增高,CE MRA所应用的含钆对比剂会增加肾源性系统性纤维化的发生风险,因此在进一步评价前,需要根据患者血肌酐水平,结合年龄、性别等参数,计算患者的估算肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR),评价其肾功能。当eGFR $\geq 30\text{ ml/min/1.73 m}^2$ ,可选择CTA或增强MRA,当eGFR $< 30\text{ ml/min/1.73 m}^2$ 时,建议采取非对比剂增强MRA、CEUS等方法进一步评价<sup>[7]</sup>(图2)。DSA是诊断RAS的金标准,其为有创性操作,主要用于确诊和治疗,而非RAS的筛查。具体方法的选择,还

需根据不同检查的适应证与禁忌证、临床医疗技术条件、患者卫生经济情况等综合判断(表2)。

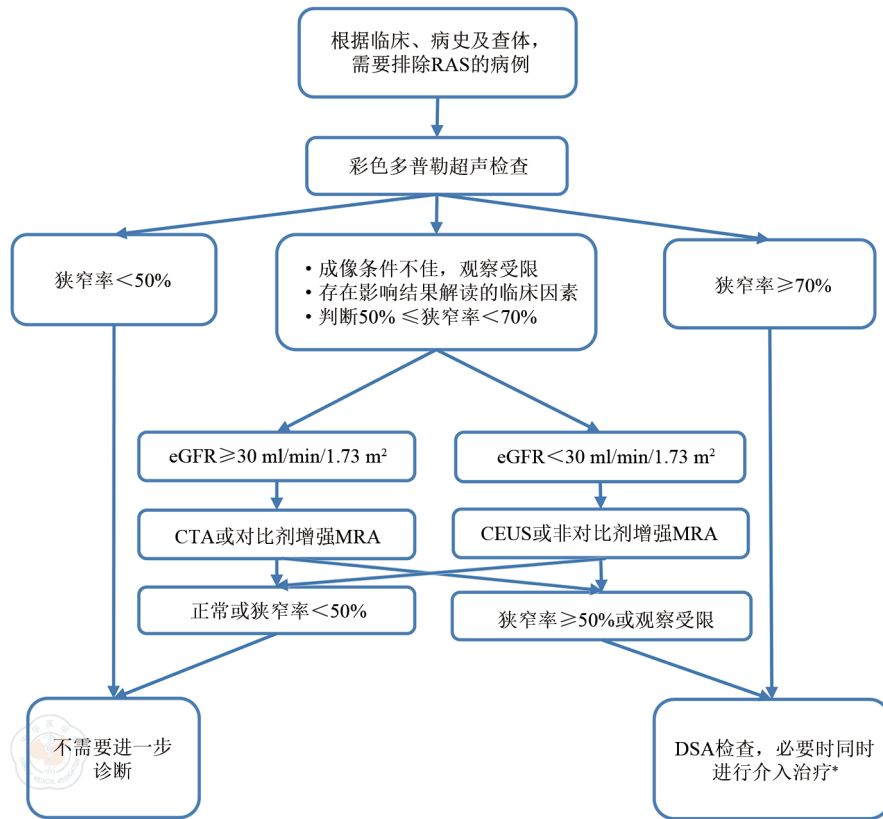
### 六、CDU在RAS诊疗中的作用和面临的挑战

CDU是目前国内外多项相关指南和共识推荐

的RAS的一线影像学筛查方法,对RAS治疗策略的制定和治疗后随访发挥着重要作用。

#### (一) 在RAS诊断中的应用

CDU通过形态学指标和血流动力学指标的相



注:RAS为肾动脉狭窄;eGFR为估算肾小球滤过率;CTA为CT血管造影;CEUS为超声造影;MRA为磁共振血管造影;“\*”表示如前期检查发现患侧肾脏长径≤7 cm,或肾内动脉阻力指数≥0.8,或肾实质有大片无强化或无血流充盈区,一般不建议行血管重建治疗,通常可不必行数字减影血管造影(DSA)检查

图2 肾动脉狭窄诊断流程图

表2 CTA、CE MRA、non-CE MRA及DSA主要特点比较

方法	电离辐射	外源性对比剂	检查时间	是否为有创性操作	诊断钙化的敏感度	RAS的诊断效率	临床应用现状	功能性评价
CTA	有	含碘对比剂	短	否	高	高	广泛应用	可观察肾脏的大小、皮质厚度,可根据肾实质强化时间及程度大致判断肾脏功能
CE MRA	无	含钆对比剂	较长	否	低	高	较广泛	与CTA类似,且可结合特殊扫描序列,评估肾实质氧合情况
non-CE MRA	无	无	较长	否	低	高	有限应用	可观察肾脏的大小、实质厚度;可结合特殊扫描序列评估肾实质氧合情况
DSA	有	含碘对比剂	长	是	一般	高,多作为研究的金标准	不作为诊断首选,多在检查同时进行介入治疗	可结合血流动力学测量;可观察肾脏的大小、皮质厚度、灌注情况

注:CTA为CT血管造影;CE MRA为增强磁共振血管造影;non-CE MRA为非增强磁共振血管造影;DSA为数字减影血管造影;RAS为肾动脉狭窄



互结合能够对RAS的发生部位、狭窄范围、狭窄程度等做出解剖学诊断。将病变发生部位、管壁结构的变化和其他部位动脉声像图特征的观察以及患者的临床信息相结合能够对RAS进行有效的病因诊断。通过超声观察肾脏大小、形状、皮质回声、皮质厚度及肾脏血流分布情况、肾内动脉频谱特征可以推测肾脏整体的血流灌注状态和功能状况。肾动脉CEUS还可以通过时间-强度曲线半定量测定分肾皮质微血流灌注,间接评价分肾功能<sup>[46-47]</sup>。

### (二) 在RAS治疗及随访中的应用

同其他类型的高血压一样,对RAS引起的高血压性高血压治疗的总目标是降低发病率和与血压增高相关的死亡率,其次是保护肾脏的血液循环和肾脏功能,防止或延缓肾脏的缺血性损害,避免终末期肾病。所以应基于病因、解剖和病理生理对RAS进行针对性治疗,从而消除病因,控制高血压。CDU在治疗方面的应用有以下几点:

#### 1. 为肾血管性高血压的合理用药提供依据

药物降压治疗是肾血管性高血压的基础治疗,常用药物中血管紧张素转化酶抑制剂和血管紧张素受体阻滞剂是最有针对性的两类降压药物,可对大部分患者推荐使用。但这些药物会降低肾小球毛细血管静水压,引起肾小球滤过率降低和肌酐升高,继而可能引起单功能肾或双侧RAS患者的肾功能进一步损害。因此,在用药前应通过超声等检查方法来明确诊断患者是单侧RAS还是双侧RAS,抑或为单功能肾<sup>[1-2]</sup>,为临床选择合适的降压药物提供依据。

#### 2. 为RAS的精准治疗提供依据

不同病因所致的RAS治疗方法有所不同,轻度动脉粥样硬化性RAS主要为针对危险因素进行治疗,包括控烟、降血脂、控制血压、控制血糖等;多发性大动脉炎性RAS如病变处于临床活动期尤其是急性期则需积极抗炎治疗,非活动期或炎症控制后,推荐首选肾动脉经皮球囊成形术(percutaneous transluminal angioplasty, PTA)治疗<sup>[5]</sup>;纤维肌性发育不良性RAS则在引起肾脏缺血症状时首选PTA治疗,PTA失败时再考虑支架置入。CDU检查结合患者临床特征通常能够明确引起RAS的病因,确定病变的狭窄程度,为RAS精准治疗提供依据。同时,当超声检查发现患肾长径<7 cm、肾内动脉RI $\geq$ 0.8、肾实质有大片无血流充盈区时,则肾动脉血管重建术结局往往较差<sup>[12]</sup>,超声评估有助于筛选具有RAS血管重建术指征的患者。

#### 3. 肾血管重建术后围手术期观察、疗效判断及术后随访

肾血管重建术的围手术期超声检查主要用于及时发现并发症,如肾动脉破裂、穿孔、夹层、闭塞、急性肾功能衰竭等,这些并发症的及时发现和处理对改善患者预后至关重要。CDU用于肾血管重建术的疗效判断主要是对血管通畅程度进行评估,检测肾动脉残余狭窄率及判断有无再狭窄发生<sup>[5]</sup>。血管重建术后一年内出现再狭窄的比例为14%~18%,故建议对血管重建术后患者采用超声检查、血压监测和肾脏功能检查的方法进行随访;根据患者病情,通常每6~12个月行肾脏和肾动脉CDU检查,了解肾脏形态大小、肾动脉血流通畅情况、肾脏血流灌注情况<sup>[5]</sup>,及时掌握病情变化,指导临床后续治疗。

### (三) 面临的挑战和未来的方向

CDU检查目前已成为RAS诊断的首选影像学检查方法,熟悉超声检查RAS的特殊性对于更充分地发挥超声检查的作用和提高超声诊断准确性至关重要,但随着对RAS和肾血管性高血压的进一步认识,临床对于超声检查也提出了更高的要求。未来的挑战在于如何利用超声筛选出适合行肾动脉血管重建术的患者、手术时机的判断以及超声在肾血管性高血压综合治疗方面的应用,这些也是我们未来研究的方向<sup>[6]</sup>。

### 共识编写组成员

#### 审校组

姜玉新(中国医学科学院北京协和医院)  
张运(山东大学齐鲁医院)  
尹立雪(四川省医学科学院·四川省人民医院)

#### 执笔组

徐钟慧(中国医学科学院北京协和医院)  
孙晓峰(吉林大学第一医院)  
张晓东(厦门大学附属第一医院)  
王健(山西医科大学第一医院)  
任俊红(北京医院)

王萱(中国医学科学院北京协和医院)  
王亚红(中国医学科学院北京协和医院)  
侯伟红(首都医科大学宣武医院)  
李建初(中国医学科学院北京协和医院)

#### 专家组(按姓氏笔画顺序排序)

马喆(山东第一医科大学第一附属医院)  
王雁(河南肿瘤医院)  
邓又斌(华中科技大学同济医院)

卢漫(四川省肿瘤医院)  
 冉海涛(重庆医科大学附属第二医院)  
 包凌云(杭州市第一人民医院)  
 尼玛玉珍(西藏自治区人民医院)  
 朱家安(北京大学人民医院)  
 朱梅(昆明医学院第一附属医院)  
 朱鹰(天津医科大学肿瘤医院)  
 华扬(首都医科大学宣武医院)  
 向慧娟(广州军区武汉总医院)  
 米成嵘(宁夏医科大学总医院)  
 孙红光(扬州市第一人民医院)  
 杜国庆(哈尔滨医科大学附属第二医院)  
 李晶(黑龙江省中医药大学附属第一医院)  
 李颖嘉(南方医科大学南方医院)  
 杨敬春(首都医科大学宣武医院)  
 吴刚(河南省人民医院)  
 吴敏(南京大学鼓楼医院)  
 吴蓉(上海市第十人民医院)  
 张铁山(北华大学附属医院)  
 张鹏飞(山东大学齐鲁医院)  
 陆永萍(云南省第二人民医院)  
 陆恩祥(辽宁中医药大学附属医院)  
 陈定章(空军军医大学附属第一医院)  
 陈涛(北京积水潭医院)  
 陈悦(复旦大学附属华东医院)  
 陈敏(复旦大学附属肿瘤医院)  
 陈琴(四川省医学科学院·四川省人民医院)  
 罗葆明(中山大学附属第二医院)  
 罗渝昆(中国人民解放军总医院)  
 郑元义(重庆医科大学附属第二医院)  
 房世保(青岛大学附属医院)  
 郝少云(中山大学孙逸仙纪念医院)  
 郭瑞君(首都医科大学附属北京朝阳医院)  
 唐杰(中国人民解放军总医院)  
 黄备建(复旦大学附属中山医院)  
 黄道中(华中科技大学同济医学院附属同济医院) 崔立刚  
 (北京大学第三医院)  
 彭玉兰(四川大学华西医院)  
 智慧(中山大学孙逸仙纪念医院)  
 程志刚(中国人民解放军总医院)  
 温朝阳(北京大学国际医院)  
 詹维伟(上海交通大学医学院附属瑞金医院)  
 黎晓林(中国人民解放军总医院第八医学中心)  
 薛恩生(福建医科大学附属协和医院)  
**秘书组**  
 王莹(中国医学科学院北京协和医院)  
 王欣(中国医学科学院北京协和医院)  
 水雯(山西医科大学第一医院)

## 参 考 文 献

- Zwiebel WJ, Pellerito JS. Introduction to vascular ultrasonography [M]. Philadelphia: Elsevier, 2005.
- Safian RD, Textor SC. Renal artery stenosis [J]. N Engl J Med, 2001, 344(6): 431-442.
- Peng M, Jiang XJ, Dong H, et al. Etiology of renal artery stenosis in 2047 patients: a single-center retrospective analysis during a 15-year period in China [J]. J Hum Hypertens, 2016, 30(2): 124-128.
- Chan PL, Tan FHS. Renin dependent hypertension caused by accessory renal arteries [J]. Clinical hypertension, 2018, 24: 15.
- 中国医疗保健国际交流促进会血管疾病高血压分会专家共识起草组. 肾动脉狭窄的诊断和处理中国专家共识 [J]. 中国循环杂志, 2017, 32(9): 835-844.
- Vassallo D, Kalra PA. Progress in the treatment of atherosclerotic renovascular disease: the conceptual journey and the unanswered questions [J]. Nephrol Dial Transplant, 2016, 31(10): 1595-1605.
- Harvin HJ, Verma N, Nikolaidis P, et al. ACR Appropriateness Criteria® renovascular hypertension [J]. J Am Coll Radiol, 2017, 14(11S): S540-S549.
- 李建初, 姜玉新, 张抒扬, 等. 直接超声参数在肾动脉狭窄诊断中的应用研究 [J/CD]. 中华医学超声杂志(电子版), 2009, 6(3): 432-440.
- 李建初. 肾动脉狭窄的超声规范化检测与结果分析 [J/CD]. 中华医学超声杂志(电子版), 2010, 7(1): 5-9.
- Odudu A, Vassallo D, Kalra PA. From anatomy to function: diagnosis of atherosclerotic renal artery stenosis [J]. Expert Rev Cardiovasc Ther, 2015, 13(12): 1357-1375.
- Li JC, Jiang YX, Zhang SY, et al. Evaluation of renal artery stenosis with hemodynamic parameters of Doppler sonography [J]. J Vasc Surg, 2008, 48(2): 323-328.
- 中国医师协会超声医师分会. 血管和浅表器官超声检查指南 [M]. 北京: 人民军医出版社, 2011.
- House MK, Dowling RJ, King P, et al. Using Doppler sonography to reveal renal artery stenosis: an evaluation of optimal imaging Parameters [J]. AJR Am J Roentgenol, 1999, 173(3): 761-765.
- 李建初, 袁光华, 柳文仪, 等. 血管和浅表器官彩色多普勒超声诊断学 [M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 1999: 134.
- Hoffmann U, Edwards JM, Carter S, et al. Role of duplex scanning for the detection of atherosclerotic renal artery disease [J]. Kidney Int, 1991, 39(6): 1232-1239.
- 李建初. 肾动脉狭窄的超声规范化检测与结果分析 [J]. 北京医学, 2011, 33(2): 85-87.
- Souza de Oliveira IR, Widman A, Molnar LJ, et al. Color Doppler ultrasound: a new index improves the diagnosis of renal artery stenosis [J]. Ultrasound Med Biol, 2000, 26(1): 41-47.
- Chain S, Luciaridi H, Feldman G, et al. Diagnostic role of new Doppler index in assessment of renal artery stenosis [J]. Cardiovascular Ultrasound, 2006, 4: 4.
- Terminology and Diagnostic Criteria Committee. Japan Society of Ultrasonics in Medicine. Standard method for ultrasound evaluation of renal arterial lesions [J]. J Med Ultrason, 2016, 43(1): 145-162.
- Li JC, Yuan Y, Qin W, et al. Evaluation of the tardus-parvus pattern in patients with atherosclerotic and non-atherosclerotic renal artery stenosis [J]. J Ultrasound Med, 2007, 26(4): 419-426.
- Li JC, Xu ZH, Yuan Y, et al. Impact of atherosclerosis and age on Doppler sonographic parameters in the diagnosis of renal artery stenosis [J]. J Ultrasound Med, 2012, 31(5): 747-755.
- Demirpolat G, Ozbek SS, Parildar M, et al. Reliability of intra-renal

- Doppler sonographic parameters of renal artery stenosis [J]. *J Clin Ultrasound*, 2003, 31: 346-351.
- 23 Stavros AT, Parker SH, Yakes WF, et al. Segmental stenosis of the renal artery: pattern recognition of tardus and parvus abnormalities with duplex sonography [J]. *Radiology*, 1992, 184(2): 487-492.
- 24 Handa N, Fukunaga R, Etani H, et al. Efficacy of echo-Doppler examination for the evaluation of renovascular disease [J]. *Ultrasound Med Biol*, 1988, 14(1): 1-5.
- 25 Baxter GM, Aitchison F, Sheppard D, et al. Color Doppler ultrasound in renal artery stenosis: intrarenal waveform analysis [J]. *Br J Radiol*, 1996, 69(825): 810-815.
- 26 Motew SJ, Cherr GS, Craven TE, et al. Renal duplex sonography: main renal artery versus hilar analysis [J]. *J Vasc Surg*, 2000, 32(3): 462-469.
- 27 Ripollés T, Aliaga R, Morote V, et al. Utility of intrarenal Doppler ultrasound in the diagnosis of renal artery stenosis [J]. *Eur J Radiol*, 2001, 40(1): 54-63.
- 28 Patriquin HB, Lafortune M, Jéquier JC, et al. Stenosis of the renal artery: assessment of slowed systole in the downstream circulation with Doppler sonography [J]. *Radiology*, 1992, 184(2): 479-485.
- 29 Gottlieb RH, Hartley DF, Rubens DJ, et al. Effect of a main renal artery stenosis on the downstream Doppler waveform in dogs [J]. *Acad Radiol*, 1995, 2(9): 768-775.
- 30 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, 15(9): 677-680.
- 31 Zeller T, Bonvini RF, Sixt S. Color-coded duplex ultrasound for diagnosis of renal artery stenosis and as follow-up examination after revascularization [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2008, 71(7): 995-999.
- 32 Krumme B, Blum U, Schwertfeger E, et al. Diagnosis of renovascular disease by intra- and extrarenal Doppler scanning [J]. *Kidney Int*, 1996, 50(4): 1288-1292.
- 33 Grupp C, Koziolok MJ, Wallbach M, et al. Difference between renal and splenic resistive index as a novel criterion in Doppler evaluation of renal artery stenosis [J]. *J Clin Hypertens*, 2018, 20(3): 582-588.
- 34 Halpern EJ, Deane CR, Needleman L, et al. Normal renal artery spectral Doppler waveform: a closer look [J]. *Radiology*, 1995, 196(3): 667-673.
- 35 Halpern EJ, Needleman L, Nack TL, et al. Renal artery stenosis: should the main renal artery or segmental vessels? [J]. *Radiology*, 1995, 195(3): 799-804.
- 36 Bude RO, Rubin JM. Detection of renal artery stenosis with Doppler sonography: it is more complicated than originally thought(editorial) [J]. *Radiology*, 1995, 196(3): 612-613.
- 37 Li JC, Wang L, Jiang YX, et al. Evaluation of renal artery stenosis with velocity parameters of Doppler sonography [J]. *J Ultrasound Med*, 2006, 25(6): 735-742.
- 38 Qanadli SD, Soulez G, Therasse E, et al. Detection of renal artery stenosis: prospective comparison of captopril-enhanced Doppler sonography, captopril-enhanced scintigraphy, and MR angiography [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2001, 177(5): 1123-1129.
- 39 Oliva VL, Soulez G, Lesage D, et al. Detection of renal artery stenosis with Doppler sonography before and after administration of captopril: value of early systolic rise [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 1998, 170(1): 169-175.
- 40 姜玉新, 李建初. 周围血管和浅表器官超声鉴别诊断图谱 [M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2007: 125.
- 41 Radermacher J, Chavan A, Schäffer J, et al. Detection of significant renal artery stenosis with color Doppler sonography: combining extrarenal and intrarenal approaches to minimize technical failure. [J]. *Clinical Nephrology*, 2000, 53(5): 333-343.
- 42 Williams GJ, Macaskill P, Chan SF, et al. Comparative accuracy of renal duplex sonographic parameters in the diagnosis of renal artery stenosis: paired and unpaired analysis [J]. *ARJ Am J Roentgenol*, 2007, 188(3): 798-811.
- 43 王健, 王亚红, 李建初. 肾动脉狭窄规范化超声检查 [J/CD]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2018, 15(10): 721-740.
- 44 李建初, 姜玉新. 肾动脉狭窄的彩色多普勒超声诊断 [J]. *中国医学影像技术*, 2001, 17(3): 280-282.
- 45 Martinoli C, Derchi LE, Rizzatto G, et al. Power Doppler sonography: general principles, clinical applications, and future prospects [J]. *European Radiology*, 1998, 8(7): 1224-1235.
- 46 Ren JH, Ma N, Wang SY, et al. Rationale and study design for one-stop assessment of renal artery stenosis and renal microvascular perfusion with contrast-enhanced ultrasound for patients with suspected renovascular hypertension [J]. *Chinese Medical Journal*, 2019, 132(1): 63-68.
- 47 Mahoney M, Sorace A, Warram J, et al. Volumetric contrast-enhanced ultrasound imaging of renal perfusion [J]. *J Ultrasound Med*, 2014, 33(8): 1427-1437.
- 48 Ren JH, Ma N, Wang SY, et al. Diagnostic value of contrast-enhanced sonography and digital subtraction angiography for renal artery stenosis [J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2019, 99(3): 209-211.
- 49 任俊红, 王思宇, 马娜, 等. 超声造影评价老年肾动脉狭窄患者的临床价值 [J]. *中华老年医学杂志*, 2018, 37(3): 276-279.
- 50 Olin JW, Piedmonte MR, Young JR, et al. The utility of duplex ultrasound scanning of the renal arteries for diagnosing significant renal artery stenosis [J]. *Ann Intern Med*, 1995, 122(11): 833-838.
- 51 Fleming SH, Davis RP, Craven TE, et al. Accuracy of duplex sonography scans after renal artery stenting [J]. *J Vasc Surg*, 2010, 52(4): 953-957.
- 52 Del CI, 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.
- 53 Chi YW, White CJ, Thornton S, et al. Ultrasound velocity criteria for renal in-stent restenosis [J]. *J Vasc Surg*, 2009, 50(1): 119-123.

(收稿日期: 2021-03-16)

(本文编辑: 汪荣)

中华医学会超声医学分会血管与浅表学组. 肾动脉狭窄的超声诊断专家共识 [J/OL]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2021, 18(6): 543-553.