

肾动脉粥样硬化性狭窄患者肾动脉支架植入术的研究进展

石秋月 常静 毛敏

(重庆医科大学附属第一医院心血管内科, 重庆 400010)

【摘要】 随着社会经济的快速发展,肾动脉粥样硬化性狭窄的患病率逐渐上升,已成为继发性高血压的重要组成部分之一。由于肾动脉粥样硬化性狭窄在发展过程中会影响心血管和肾脏等重要脏器,导致严重的并发症甚至死亡,因此及时发现该类患者并进行早期干预显得尤为重要。但如何进行干预存在许多争议,肾动脉支架植入术的运用时机和疗效问题并未得到良好解决。现阐述关于肾动脉粥样硬化性狭窄患者的肾动脉支架植入术治疗相关进展。

【关键词】 肾动脉粥样硬化性狭窄;肾动脉支架植入术;血压;肾功能;肾血流储备分数

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2023.05.006

Renal Artery Stent Placement in Patients with Atherosclerotic Renal Artery Stenosis

SHI Qiuyue, CHANG Jing, MAO Min

(Department of Cardiology, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

【Abstract】 With the rapid development of social economy, the prevalence of atherosclerotic renal artery stenosis has gradually increased and has become one of the important components of secondary hypertension. Atherosclerotic renal artery stenosis will affect cardiovascular, kidney and other important organs in the development process, leading to serious complications and even death. It is particularly important to identify such patients timely and carry out intervention early, but there are many disputes about how to intervene. The problems of the timing and efficacy of renal artery stent placement has not been resolved properly. This review aims to illustrate the relevant progress of renal artery stent placement in atherosclerotic renal artery stenosis patients.

【Key words】 Atherosclerotic renal artery stenosis; Renal artery stent placement; Blood pressure; Renal function; Renal fractional flow reserve

肾动脉狭窄 (renal artery stenosis, RAS) 是继发性高血压的常见疾病类型,约 20% 的继发性高血压患者是由 RAS 引起的^[1]。RAS 病因主要分为三大类,一类是肾动脉粥样硬化性狭窄 (atherosclerotic renal artery stenosis, ARAS),约占 82%;其余两类分别是大动脉炎和肌纤维发育不良^[2]。ARAS 的临床意义与管腔狭窄程度相关。中重度狭窄的 ARAS 一方面可引起肾功能迅速恶化,出现缺血性肾病或肾萎缩^[3]。另一方面,由于肾脏血流灌注降低,激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统 (renin-angiotension-aldosterone system, RAAS),引起肾血管性高血压,逐渐进展为难治性高血压^[4]。最终,RAAS 导致心室重塑使收缩和舒张功能减退,可反复发生充血性心力衰竭或肺水肿^[5-6]。当肾动脉管腔狭窄 $\geq 50\%$ 时一般需干预治疗。尽管 2017 年中国专家共识^[1]指出,肾动脉支架植入术可在 ARAS $\geq 70\%$ 或 ARAS $\geq 50\%$ 且狭窄两端峰值收缩压差 ≥ 20 mm Hg (1 mm Hg = 0.133 3 kPa) 或平均压差 \geq

10 mm Hg 的患者中进行,表明该狭窄具有血流动力学意义,需及时解除狭窄,恢复血流,但 ARAS 患者治疗方式选择的界限仍不明确,选择肾动脉支架植入术是否会有短期或远期获益目前尚不清楚。现就 ARAS 患者肾动脉支架植入术的治疗进展进行综述。

1 肾动脉造影指导肾动脉支架植入术及效果评价

尽管用于诊断 RAS 的辅助检查层出不穷,但血管造影仍是诊断 ARAS 的金标准,对疑似 ARAS 病例需进一步完善血管造影^[7]。目前,ARAS 的经皮介入技术成熟,手术成功率 $> 96\%$,且很少出现手术并发症^[8]。

近 20 年来,许多研究者探讨 ARAS 患者是否适用于肾动脉造影视觉评估指导下的肾动脉支架植入术做了一些临床研究,但得到了阴性结果,使得人们开始怀疑介入治疗效果也许并不理想。随着争议越发激烈,越来越多已发表的相关研究证明了血运重建后可使心血管获益,使得人们又看到了介入治疗新的

希望。目前,探究 ARAS 患者干预后的结局主要包括血压(blood pressure, BP)、肾功能、心血管和肾脏不良事件。以下将根据近年来的临床研究分析 ARAS 患者

经皮腔内肾动脉成形术及支架植入术后对上述主要结局的影响(见表 1)。

表 1 经皮腔内肾动脉成形术及支架植入术对 ARAS 患者结局的影响

作者 (年份)	人数/例	纳入标准	基线		结局		
			BP(或抗 高血压药数量)	肾功能	BP(或抗 高血压药数量)	肾功能	心血管和肾脏 不良事件
Wheatley 等 ^[9] (2009)	806 药物组(403) 血运重建组(403)	ARAS 患者	BP 药物组: 152/76 mm Hg 血运重建组: 149/76 mm Hg 抗高血压药数量 药物组:2.8 血运重建组:2.8	血清肌酐 药物组: 178 $\mu\text{mol/L}$ 血运重建组: 179 $\mu\text{mol/L}$	BP 药物组: 141/70 mm Hg 血运重建组: 141/73 mm Hg 抗高血压 药数量 药物组:3 血运重建组:2.8	血清肌酐 药物组: 184 $\mu\text{mol/L}$ 血运重建组: 209 $\mu\text{mol/L}$	两组发生心血管 疾病、肾脏疾病和 死亡的风险相似
Bax 等 ^[10] (2009)	140 药物组(76) 支架组(64)	肌酐清除率 <80 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$) 且经无创影像学 评估 ARAS \geq 50% 的患者	BP 药物组: 160/83 mm Hg 支架组: 163/82 mm Hg 抗高血压药 数量 药物组:2.9 支架组:2.8	血清肌酐 药物组: 145 $\mu\text{mol/L}$ 支架组: 154 $\mu\text{mol/L}$ 估算肌酐 清除率 药物组:46 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$) 支架组:45 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$)	BP 药物组: 155/79 mm Hg 支架组: 155/77 mm Hg 抗高血压药 数量 药物组:2.9 支架组:2.6	血清肌酐 药物组: 168 $\mu\text{mol/L}$ 支架组: 156 $\mu\text{mol/L}$ 估算肌酐清除率 药物组:46 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$) 支架组:50 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$)	两组心血管事件、 肾功能恶化发生 率和死亡率无显 著差异
Cooper 等 ^[11] (2014)	947 药物组(480) 支架组(467)	严重 ARAS 患者 (ARAS \geq 60% 且收缩压梯度 \geq 20 mm Hg,或 ARAS \geq 80%)	收缩压 药物组: 150 mm Hg 支架组: 150 mm Hg	eGFR 药物组:57 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$) 支架组:58 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$)	收缩压下降 药物组: 15.6 mm Hg 支架组: 16.6 mm Hg	—	主要复合终点(卒 中、心肌梗死、因 充血性心力衰竭 住院治疗、进行性 肾功能不全或永 久性肾脏替代治 疗、心血管或肾脏 不良事件导致的 死亡)的发生率无 明显差异
Chrysant 等 ^[12] (2014)	202	ARAS \geq 60% 且 伴有高血压(收 缩压 \geq 140 mm Hg 或舒张压 \geq 90 mm Hg且服用 两种及以上的 抗高血压药), 均行支架植入术	BP:162/ 78 mm Hg	血清肌酐: 106 $\mu\text{mol/L}$ eGFR:58 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$)	BP 9 个月后: 145/75 mm Hg 3 年后: 146/75 mm Hg	eGFR 9 个月后:57 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$) 3 年后:57 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$)	有 18 例患者死亡
Kim 等 ^[13] (2019)	47 低风险组(26) 高风险组(21)	已接受经皮血管 成形术伴或不伴 支架植入术的 ARAS 患者	BP 低风险组: 134/76 mm Hg 高风险组: 152/77 mm Hg	eGFR 低风险组:49 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$) 高风险组:33 mL/ ($\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2$)	BP 稳定 低风险组: 9 例(36.0%) 高风险组: 14 例(77.8%)	肾功能改善 低风险组: 2 例(8.0%) 高风险组: 5 例(27.8%)	血管成形术后 有 8 例(17.0%) 患者发生急性 肾损伤

续表

作者 (年份)	人数/例	纳入标准	基线		结局		
			BP(或抗 高血压药数量)	肾功能	BP(或抗 高血压药数量)	肾功能	心血管和肾脏 不良事件
Wolak 等 ^[14] (2011)	32	均行肾动脉血管成形术和支架植入术的 ARAS 患者	BP:161/ 84 mm Hg 抗高血压药 数量:3.2	血清肌酐: 141 $\mu\text{mol/L}$	BP:135/ 71 mm Hg 抗高血压药 数量:2.9	血清肌酐: 150 $\mu\text{mol/L}$	—
Liao 等 ^[15] (2012)	125	均行肾动脉血管成形术和支架植入术的 ARAS 患者	BP:168/ 92 mm Hg 抗高血压药 数量:2.7	血清肌酐: 147 $\mu\text{mol/L}$ eGFR:58 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	BP:141/ 80 mm Hg 抗高血压药 数量:1.6	血清肌酐: 157 $\mu\text{mol/L}$ eGFR:56 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	—
Jujo 等 ^[16] (2016)	31	均行肾动脉成形术的 ARAS $\geq 75\%$ 且跨病变压力梯度 $> 20\text{ mm Hg}$ 的患者	24 小时 动态血压: 135/74 mm Hg	血清肌酐: 106 $\mu\text{mol/L}$ eGFR:47 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	术后动态 BP 下降幅度与基线动态 BP 相关	肾功能较基线无明显差异	—
Reinhard 等 ^[17] (2022)	102	ARAS $\geq 70\%$ 的患者且伴有至少一种以上临床表现:肾功能迅速下降、难治性高血压、复发性心力衰竭或肺水肿	24 小时 动态血压: 166/82 mm Hg 抗高血压药 数量:4	eGFR:41 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	3 个月后 24 小时动态 血压较基线比: 收缩压下降 20 mm Hg, 舒张压下降 8 mm Hg	3 个月后 eGFR 较基线比: 增加 7.8 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	3 例患者发作心力衰竭或肺水肿并伴肾功能恶化,其中 2 例患者需透析
Zeller 等 ^[18] (2017)	86 药物组(41) 支架组(45)	具有血流动力学意义的 ARAS 患者	—	eGFR 药物组:56 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$) 支架组:53 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	平均收缩压 下降幅度 药物组: 5 mm Hg 支架组: 7 mm Hg	eGFR 的 变化幅度 药物组:3.0 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$) 支架组:4.3 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	两组发生复合心血管不良事件的发生率无明显统计学差异
Catena 等 ^[19] (2017)	54	均行肾动脉支架植入术的 ARAS $> 70\%$ 且伴有难治性高血压的患者	BP:161/ 97 mm Hg 抗高血压药 数量:3.4	血清肌酐: 115 $\mu\text{mol/L}$ 24 小时肌酐 清除率:81 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	3 周后 BP:144/ 88 mm Hg 抗高血压药 数量:2	3 周后 血清肌酐: 115 $\mu\text{mol/L}$ 24 小时肌酐 清除率:77 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	长期随访中左心室壁厚度显著减少,且左心室的舒张功能有所改善
Vassallo 等 ^[20] (2018)	263	ARAS $\geq 70\%$ 的患者	BP:155/ 80 mm Hg	eGFR:30 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	—	—	经皮腔内血运重建术后可降低发生终末期肾病、心血管事件等复合终点事件的风险
Misra 等 ^[21] (2016)	1 052	均行肾动脉支架植入术的 ARAS 患者	BP:156/ 77 mm Hg 抗高血压药 数量:2.9	肾小球滤过率: 42 mL/ ($\text{min}\cdot 1.73\text{ m}^2$)	平均收缩压下降 17.6 mm Hg, 平均舒张压下降 7.9 mm Hg, 抗高血压药数量减少 0.18	—	30 d 进展为肾脏替代治疗的发生率为 2.6%, 全因死亡率为 1.2%

注:血运重建组(或支架组),表示该组患者既接受了经皮腔内肾动脉成形术及支架植入术,同时又联合了药物治疗;药物组,表示该组患者仅接受了药物治疗。eGFR,估算的肾小球滤过率。

1.1 肾动脉支架植入术对 BP 的影响

一项 10 年前的随机对照 ASTRAL 研究^[9]共招募 806 例 ARAS 患者,并随机分配至药物组和血运重建组,两组基线 BP 分别为 152/76 mm Hg 和 149/76 mm Hg,随访 5 年后两组 BP 均有下降,但药物组 BP 下降幅度较为明显,由此,该研究者们认为血运重建效果不佳。然而,该研究纳入的大多为轻中度患者,并未纳入适合行血运重建的重度 ARAS 患者。同年,Bax 等^[10]为探讨肾动脉支架植入术是否能改善肾功能受损的 ARAS 患者,开展了前瞻性随机对照 STAR 研究,将患者随机分配至药物组和支架组,两组基线 BP 分别为 160/83 mm Hg 和 163/82 mm Hg,研究结束时的数据表明两组 BP 均较前降低,但两组之间并无明显差异。CORAL 研究^[11]共纳入 947 例 ARAS $\geq 60\%$ 的患者,研究方法与 ASTRAL 和 STAR 研究类似,结果显示虽然两组收缩压(systolic blood pressure, SBP)均下降,但支架组在降低 BP 方面较药物组略有优势[-2.3 mm Hg (95% CI $-4.4 \sim -0.2$), $P < 0.05$]。在 HERCULES 试验^[12]中,对 202 例 ARAS 合并高血压患者行肾动脉支架植入术,基线 SBP 为 162 mm Hg,9 个月和 36 个月后 SBP 分别为 145 mm Hg ($P < 0.000 1$) 和 146 mm Hg ($P < 0.000 1$)。此外,多项非随机对照试验^[13-15]也证明 ARAS 患者行肾动脉支架植入术后可降低 BP,还可减少抗高血压药的使用数量。

为准确地观察 BP 变化幅度和下降程度,研究者们开始利用 24 小时动态血压监测(ambulatory blood pressure monitoring, ABPM)而不是临床随机 BP。Jujo 等^[16]在肾动脉血管成形术术前及术后进行 ABPM,结果显示 ABPM 对术后 BP 有预测优势。在一篇近期发表的前瞻性研究文章中,Reinhard 等^[17]用 ABPM 评估重度 RAS 患者支架植入术后的短期和远期预后,数据表明 SBP 和舒张压均显著下降,且 ABPM 中 SBP 至少降低 10 mm Hg,抗高血压药日剂量也显著减少。由此可见,ABPM 较随机 BP 可能更适合监测 ARAS 患者对术后 BP 的反应情况。

实际上,若纳入合适的患者,肾动脉支架植入术比单用药物治疗所获得的益处可能更加明显,只是大多数随机对照研究未纳入恰当的适合行支架植入术的病例。总之,肾动脉支架植入术能改善或稳定 BP,尤其对 ARAS 合并难治性高血压患者,效果较为显著。

1.2 肾动脉支架植入术对肾功能的影响

ARAS 常引起肾功能不全,其中很重要的一个指标是肾小球滤过率下降,经肾动脉支架植入术后能否改善肾功能的争议较大。由于 RAAS 的激活可导致肾血管系统的重塑和肾脏纤维化,引起肾脏不可逆性恶

化,此时通过肾动脉支架植入术并不能逆转肾功能。从理论上,若在肾动脉发生永久性改变之前进行干预,解除管腔狭窄,抑制 RAAS 的激活,则肾功能是可能出现逆转的。然而,所积累的研究数据发现事实上并不理想。如前所述,ASTRAL 研究^[9]中展示了在 5 年随访后,药物组和血运重建组的 ARAS 患者肾功能均有所恶化,但药物组肾功能恶化程度更大,可见血运重建对肾功能更有利。然而,STAR 研究^[10]的主要结果显示肾动脉支架植入术并不能改变肾损害的进展。当然,ASTRAL 和 STAR 研究所存在的局限性前面已讨论过,二者的结果并不完全可靠,不能绝对肯定或否定肾动脉支架植入术对肾功能的影响。一项前瞻性的多中心随机对照 RADAR 研究^[18]旨在比较单用药物治疗或肾动脉支架植入术联合药物治疗对 ARAS 患者肾功能的影响,数据显示了药物组和支架组的基线与 12 个月后估算的肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)的变化幅度,分别为 3.0 mL/(min $\cdot 1.73$ m²) 和 4.3 mL/(min $\cdot 1.73$ m²)。即使两组比较差异无统计学意义,但不可否认的是,支架组的 eGFR 有所上升,肾功能有所改善。在 Reinhard 等^[17]的研究中同样观察到了支架植入术后肾功能改善的结果,eGFR 较基线增加了 7.8 mL/(min $\cdot 1.73$ m²) (95% CI $4.5 \sim 11.1$, $P < 0.001$)。

尽管肾动脉支架植入术后能否对肾功能进行逆转具有较大争议,但研究者们有着一致的观点,认为在进行支架植入术前,应准确地评估肾动脉是否完全闭塞,肾脏是否已进展为纤维化,导致不可逆的肾功能丧失。ACC/AHA 指南^[22]和中国专家共识^[1]均表示对伴有显著血流动力学的 ARAS 或是伴有难治性高血压、肾功能快速下降、一过性肺水肿、不明原因的充血性心力衰竭的 ARAS 患者,宜行肾动脉支架植入术。对无临床表现或晚期肾病的 ARAS 患者也许从肾动脉支架植入术中获益较少^[23-24]。

1.3 肾动脉支架植入术对心血管和肾脏不良事件等发生的影响

有研究^[19]表明,肾动脉支架植入术在伴有难治性高血压的 ARAS 患者中,不仅可降低 BP,减少服用抗高血压药的数量,还可长期改善肾功能和心室结构,从而降低发生心血管疾病和肾脏进行性损害的风险。相关荟萃分析^[25]结果提示,肾动脉血运重建和抗高血压药联合治疗可显著降低 ARAS 患者左心室肥大的风险。另外,关于肾脏不良事件方面也有相关临床试验进行探究。Vassallo 等^[20]表明蛋白尿 $< 1\ 000$ mg/d 的 ARAS 患者在肾动脉支架植入术后可降低发生终末期肾病的风险。然而,Misra 等^[21]则认为蛋白尿 $>$

300 mg/d 和 $\text{eGFR} < 45 \text{ mL}/(\text{min} \cdot 1.73 \text{ m}^2)$ 的 ARAS 患者行支架植入术后,肾脏进行性恶化和全因死亡的风险增加。当前对于肾动脉支架植入术是否能减少肾脏不良事件的发生暂无统一的认识和观点,需进一步探讨。

2 联合肾动脉功能学指标指导肾动脉支架植入术及效果评价

值得一提的是,单用肾动脉造影指导 ARAS 患者支架植入术可能会导致许多并不令人满意的结果,因为血管造影仅根据视觉进行解剖学评估,而无法进行功能学上的评估。血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)是功能学评估参数之一,用于评估血管狭窄程度,是指导支架植入术的重要指标^[26]。目前 FFR 检测技术较为成熟,从血管造影发展至计算机断层扫描测量,主要用于评估冠状动脉狭窄的治疗方式和判断预后。

从冠状动脉延伸至肾动脉,血管造影联合肾脏血流储备分数(renal fractional flow reserve, rFFR)指导肾动脉支架植入术似乎更为可靠。然而,难题在于心肌与肾脏的生理差异明显不同,冠状动脉介入的功能学指标能否完全转移至 RAS 上不得而知。为探索 rFFR 的可行性,将 rFFR 的计算方法与冠状动脉 FFR 的计算方法基本保持一致,即在充血状态下,RAS 病变远端的最大血流量与无狭窄的近端的最大血流量之比^[27]。此时,还需引入一个新的功能学指标——静息状态下狭窄处远端平均压力(distal pressure, Pd)与无狭窄处近端平均压力(aortic pressure, Pa)的比值,即 Pd/Pa ^[27]。

Kądziała 等^[28]的研究表明 rFFR 和 Pd/Pa 的最佳临界值分别为 0.8 和 0.93, $\text{rFFR} < 0.8$ 诊断 RAS $\geq 70\%$ 的敏感性和特异性均为 78%,而 $\text{Pd}/\text{Pa} < 0.93$ 的诊断敏感性和特异性分别为 95% 和 55%。Mitchell 等^[27]研究显示 $\text{rFFR} < 0.8$ 的患者比 $\text{rFFR} \geq 0.8$ 的患者在肾动脉支架植入术后 BP 改善更明显($P = 0.04$)。相反,Kądziała 等^[29-30]根据临界值 $\text{rFFR} = 0.8$ 和 $\text{Pd}/\text{Pa} = 0.93$ 指导 35 例患者行肾动脉支架植入术并随访 6 个月,遗憾的是,未观察到 rFFR 和 Pd/Pa 与术后 BP 和肾功能改善相关。另外,少数研究者^[31]探索了 rFFR 设定为 0.9 时肾静脉肾素的分泌显著增加,表明该狭窄具有血流动力学意义。由此可见,用于评估肾脏血管狭窄的功能学指标 rFFR 的临界值设定目前尚不清楚,其预测 RAS 患者远期预后仍存在许多未知,还需更多前瞻性的临床试验来证明。

3 联合影像学技术指导肾动脉支架植入术及效果评价

对于应如何治疗 RAS 是目前国际上的重点关注

话题,即使按照医生的临床判断和当前的相关指南仍无法可靠地选择 RAS 的治疗方式。联合影像学技术指导 RAS 治疗或许值得一试。

3.1 联合血管内超声技术

众所周知,血管内超声(intravascular ultrasound, IVUS)可用于指导经皮冠状动脉介入治疗。因此,在 20 年前就有人将 IVUS 用于 ARAS 患者,观察其是否具有同样的决策效应,但有研究^[32]认为术中 IVUS 指导肾动脉支架植入术的效果并不理想。相反,有研究者^[33]发现联合 IVUS 的支架植入术可使患者的 BP 获益(即使肾功能无明显改善)。目前,IVUS 用于评估肾动脉管腔狭窄病变指导 ARAS 患者治疗的证据有限,相关临床数据较少,暂不能得出肾血管造影联合 IVUS 指导治疗有效的结论。

3.2 联合血氧水平依赖性磁共振成像技术

血氧水平依赖性磁共振成像(blood oxygen level-dependent magnetic resonance imaging, BOLD-MRI)是一种非侵入性且发展成熟的技术,其 R2^* 值的高低与脱氧血红蛋白的浓度密切相关,可反映组织器官缺血缺氧的严重程度^[34]。有研究^[35]发现使用 BOLD-MRI 可早期发现肾脏缺血但肾脏氧合良好,且暂未发生肾功能不全的患者,进而早期干预,挽救缺血肾脏,保护肾功能。近期的一项研究^[36]表明接受肾动脉支架植入术的重度 ARAS 患者,其 BOLD-MRI 髓质 R2^* 值可预测术后单个肾功能改善的情况。从当前的研究现状来看,肾动脉支架植入术联合 BOLD-MRI 应用于 ARAS 患者可能会使其及时获益,改善缺氧,保全肾功能。

4 总结和展望

RAS 是继发性高血压中常见的类型之一,当患者出现难治性高血压以及肾功能快速下降等异常变化时,临床医师应高度警惕其患有 RAS 的可能,需经过一系列检查并结合临床病史判断 RAS 的病因是否由动脉粥样硬化引起。目前,多个研究证明在合适的 ARAS 患者中行肾动脉支架植入术能改善 BP 和减少心血管事件的发生,但肾功能能否改善或肾脏不良事件是否减少尚存争议。未来,将会有源源不断的探索和创新,使肾动脉支架植入术的应用更加精确、技术更加前沿,为更广阔的 ARAS 人群带来远期益处。

参考文献

- [1] 蒋雄京,邹玉宝. 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.
- [2] 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.

- [3] Dobrek L. An outline of renal artery stenosis pathophysiology—A narrative review[J]. *Life* (Basel), 2021, 11(3):208.
- [4] Bokhari MR, Bokhari SRA. Renal artery stenosis[M]//StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. PMID:28613469.
- [5] Lenz T, Schulte KL. Current management of renal artery stenosis [J]. *Painmanagement Med*, 2016, 58(1):94-101.
- [6] Zeller T, Macharzina R, Rastan A, et al. Renal artery stenosis: up-date on diagnosis and treatment[J]. *Vasa*, 2014, 43(1):27-38.
- [7] Noory E, Sriharan K, Zeller T. To stent or not to stent? Update on revascularization for atherosclerotic renovascular disease [J]. *Curr Hypertens Rep*, 2016, 18(6):45.
- [8] Patel SM, Li J, Parikh SA. Renal artery stenosis: optimal therapy and indications for revascularization[J]. *Curr Cardiol Rep*, 2015, 17(9):623.
- [9] Wheatley K, Ives N, Gray R, et al. Revascularization versus medical therapy for renal-artery stenosis[J]. *N Engl J Med*, 2009, 361(20):1953-1962.
- [10] Bax L, Woittiez AJ, Kouwenberg HJ, et al. Stent placement in patients with atherosclerotic renal artery stenosis and impaired renal function: a randomized trial[J]. *Ann Intern Med*, 2009, 150(12):840-848.
- [11] Cooper CJ, Murphy TP, Cutlip DE, et al. Stenting and medical therapy for atherosclerotic renal-artery stenosis[J]. *N Engl J Med*, 2014, 370(1):13-22.
- [12] Chrysant GS, Bates MC, Sullivan TM, et al. Proper patient selection yields significant and sustained reduction in systolic blood pressure following renal artery stenting in patients with uncontrolled hypertension: long-term results from the HERCULES trial [J]. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 2014, 16(7):497-503.
- [13] Kim S, Kim MJ, Jeon J, et al. Effects of percutaneous angioplasty on kidney function and blood pressure in patients with atherosclerotic renal artery stenosis [J]. *Kidney Res Clin Pract*, 2019, 38(3):336-346.
- [14] Wolak T, Belkin A, Ginsburg V, et al. Does percutaneous transluminal renal artery angioplasty improve blood pressure control and renal function in patients with atherosclerotic renal artery stenosis?[J]. *Isr Med Assoc J*, 2011, 13(10):619-624.
- [15] Liao CJ, Yang BZ, Wang ZG. Percutaneous transluminal renal angioplasty with stent is effective for blood pressure control and renal function improvement in atherosclerotic renal artery stenosis patients[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2012, 125(8):1363-1368.
- [16] Jujo K, Saito K, Ishida I, et al. Efficacy of 24-hour blood pressure monitoring in evaluating response to percutaneous transluminal renal angioplasty[J]. *Circ J*, 2016, 80(9):1922-1930.
- [17] Reinhard M, Schousboe K, Andersen UB, et al. Renal artery stenting in consecutive high-risk patients with atherosclerotic renovascular disease: a prospective 2-center cohort study[J]. *J Am Heart Assoc*, 2022, 11(7):e24421.
- [18] Zeller T, Krankenberg H, Erglis A, et al. A randomized, multi-center, prospective study comparing best medical treatment versus best medical treatment plus renal artery stenting in patients with hemodynamically relevant atherosclerotic renal artery stenosis (RADAR)—One-year results of a pre-maturely terminated study [J]. *Trials*, 2017, 18(1):380.
- [19] Catena C, Colussi G, Brosolo G, et al. Long-term renal and cardiac outcomes after stenting in patients with resistant hypertension and atherosclerotic renal artery stenosis[J]. *Kidney Blood Press Res*, 2017, 42(5):774-783.
- [20] Vassallo D, Ritchie J, Green D, et al. The effect of revascularization in patients with anatomically significant atherosclerotic renovascular disease presenting with high-risk clinical features[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2018, 33(3):497-506.
- [21] Misra S, Khosla A, Allred J, et al. Mortality and renal replacement therapy after renal artery stent placement for atherosclerotic renovascular disease[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2016, 27(8):1215-1224.
- [22] Hirsch AT, Haskal ZJ, Hertzner NR, et al. ACC/AHA Guidelines for the Management of Patients with Peripheral Arterial Disease (lower extremity, renal, mesenteric, and abdominal aortic): a collaborative report from the American Associations for Vascular Surgery/Society for Vascular Surgery, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society for Vascular Medicine and Biology, Society of Interventional Radiology, and the ACC/AHA Task Force on Practice Guidelines (writing committee to develop guidelines for the management of patients with peripheral arterial disease)—Summary of recommendations[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2006, 17(9):1383-1397, 1398.
- [23] Klein AJ, Jaff MR, Gray BH, et al. SCAI appropriate use criteria for peripheral arterial interventions: an update[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2017, 90(4):E90-E110.
- [24] Prince M, Tafur JD, White CJ. When and how should we revascularize patients with atherosclerotic renal artery stenosis? [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, 12(6):505-517.
- [25] Cuspidi C, Tadic M, Sala C, et al. Left ventricular mass reduction and hypertrophy regression following renal artery revascularization: a meta-analysis [J]. *J Hypertens*, 2021, 39(1):4-11.
- [26] Zhuang B, Wang S, Zhao S, et al. Computed tomography angiography-derived fractional flow reserve (CT-FFR) for the detection of myocardial ischemia with invasive fractional flow reserve as reference: systematic review and meta-analysis [J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(2):712-725.
- [27] Mitchell JA, Subramanian R, White CJ, et al. Predicting blood pressure improvement in hypertensive patients after renal artery stent placement: renal fractional flow reserve[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2007, 69(5):685-689.
- [28] Kądziała J, Witkowski A, Januszewicz A, et al. Assessment of renal artery stenosis using both resting pressures ratio and fractional flow reserve: relationship to angiography and ultrasonography[J]. *Blood Press*, 2011, 20(4):211-217.
- [29] Kądziała J, Januszewicz A, Prejbisz A, et al. Prognostic value of renal fractional flow reserve in blood pressure response after renal artery stenting (PREFER study) [J]. *Cardiol J*, 2013, 20(4):418-422.
- [30] Kądziała J, Prejbisz A, Michałowska I, et al. Relationship between hemodynamic parameters of renal artery stenosis and the changes of kidney function after renal artery stenting in patients with hypertension and preserved renal function[J]. *Blood Press*, 2015, 24(1):30-34.
- [31] Kapoor N, Fahsah I, Karim R, et al. Physiological assessment of renal artery stenosis: comparisons of resting with hyperemic renal pressure measurements [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2010, 76(5):726-732.
- [32] Leertouwer TC, Gussenhoven EJ, van Overhagen H, et al. Stent placement for treatment of renal artery stenosis guided by intravascular ultrasound[J]. *J Vasc Interv Radiol*, 1998, 9(6):945-952.
- [33] Kawasaki D, Fujii K, Fukunaga M, et al. Safety and efficacy of carbon dioxide and intravascular ultrasound-guided stenting for renal artery stenosis in patients with chronic renal insufficiency[J]. *Angiology*, 2015, 66(3):231-236.
- [34] Chrysoschou C, Mendichovszky IA, Buckley DL, et al. BOLD imaging: a potential predictive biomarker of renal functional outcome following revascularization in atheromatous renovascular disease[J]. *Nephrol Dial Transplant*, 2012, 27(3):1013-1019.
- [35] Glowiczki ML, Lerman LO, Textor SC. Blood oxygen level-dependent (BOLD) MRI in renovascular hypertension [J]. *Curr Hypertens Rep*, 2011, 13(5):370-377.
- [36] Lin Z, Zhang B, Lin L, et al. Prediction of split renal function improvement after renal artery stenting by blood oxygen level-dependent magnetic resonance imaging[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2022, 9:793777.

收稿日期:2022-10-17