

高血压相关的介入诊疗进展

车武强 郑金刚

(中日友好医院心脏科, 北京 100029)

【摘要】 高血压是导致全球心血管疾病死亡及致残的重要危险因素之一, 目前中国的高血压控制率仍不高。高血压相关的介入技术在高血压的诊断、治疗方面发挥了积极作用, 对于提高整体高血压的控制率至关重要。现就高血压相关的介入诊疗进展进行综述, 以期加强对该领域的了解, 提升高血压的诊治水平。

【关键词】 高血压; 介入; 诊疗

【DOI】 10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2024.03.004

Interventional Diagnosis and Treatment of Hypertension

CHE Wuqiang, ZHENG Jingang

(Department of Cardiology, China-Japan Friendship Hospital, Beijing 100029, China)

【Abstract】 Hypertension is one of the most important risk factors leading to mortality and disability in patients with cardiovascular disease worldwide. At present, the control rate of hypertension in China is still low. Hypertension-related interventional techniques play a positive role in the diagnosis and treatment of hypertension, which is also very important for improving the overall control rate of hypertension. This article reviews the progress of interventional diagnosis and treatment of hypertension in order to strengthen the understanding of this field and improve the diagnosis and treatment of hypertension.

【Keywords】 Hypertension; Intervention; Diagnosis and treatment

高血压是全球心血管疾病和过早死亡的主要原因之一^[1-2], 也成为中国重要的公共卫生问题。但由于生活方式干预不足、用药依从性差、药物副作用等因素, 目前中国高血压控制率普遍较低^[3]。近几十年来由于医疗技术的不断发展, 高血压相关的介入诊疗技术也取得了一定的进展, 对于原发性高血压的治疗、继发性高血压的诊断和治疗方面发挥了重要作用。本文就高血压相关的介入诊断及治疗进展做一综述, 以期加深对该领域的了解。

1 原发性高血压相关的介入治疗

1.1 经皮去肾神经术

经皮去肾神经术 (renal denervation, RDN) 是全球在探索高血压治疗方面的一次重大创新和尝试, 自 2007 年首次开展人体 RDN 以来, 其发展也经历不少曲折。Symplicity HTN-1、Symplicity HTN-2 等研究让大家对此技术充满希望^[4-5]。然而在 2014 年发表了设有假手术对照的 Symplicity HTN-3 研究^[6], 结果表明 RDN 组和假手术组相比, 降压疗效无显著差异, 进而引发了对该技术治疗高血压有效性的巨大争议, RDN

研究因此进入了一段时间的低潮期。而近十年来, 在对 RDN 器械及技术等方面进行改进后, RDN 技术再次取得巨大的研究进展和广泛关注, 包括使用射频、超声、酒精、冷冻等不同消融方法开展的系列临床研究。

经导管射频 RDN (代表设备为 Spyral 系统, 美敦力公司) 较其他方式 RDN 的研究数量和入组患者均明显增加, 证据更加充分, 主要以 SPYRAL HTN-OFF MED 研究、SPYRAL HTN-ON MED 研究和真实世界注册研究 (Global Symplicity Registry) 等为代表^[7-9], 均证实使用第二代美敦力 Spyral 消融导管 RDN 治疗能降低患者的血压。中国近年来完成的 3 个经导管射频 RDN 治疗高血压的随机、假手术对照临床研究 (SMART HTN、Iberis HTN、Netrod HTN) 也得出类似结果, 6 个月随访均取得阳性结果, 进一步增加了经导管射频 RDN 降压治疗有效性的中国证据。经导管超声 RDN (代表设备为 Paradise 系统, ReCor 公司) 消融治疗高血压也开展了不少的临床研究。使用 Paradise 设备进行的多个随机、假手术对照的系列研究

(RADIANCE-HTN)^[10-13], 经过 2~6 个月的随访, 证实未服用抗高血压药的轻中度高血压患者以及服用抗高血压药未控制的高血压患者中, 超声 RDN 有显著降压作用。

虽然 RDN 取得不少进展, 但仍存在许多待解决的问题: 首先, 既往研究中有 1/4~1/3 的患者 RDN 后血压下降不明显, 因此在基础原理方面, 肾交感神经与高血压的关系, 肾交感神经的组成、分布和再生等需进一步研究; 其次, 在临床方面, 合适患者的筛查和选择、手术有效性评价指标、肾交感神经的标测、RDN 器械和能量方式的创新和改进、不同消融方式的比较, 以及 RDN 能否带来长期心血管获益等方面, 仍需进一步的探索和研究。

总体而言, RDN 应是目前最有前景的高血压介入技术, 虽然还处于不断的探索之中, 但该技术基于的原理比较明确, 如果能在手术即刻效果评价、肾交感神经的标测、患者筛查等方面有所突破, 未来将会迎来更大的发展机遇。

1.2 颈动脉窦压力感受器刺激疗法

颈动脉窦压力感受器是参与血压调节的重要结构。高血压患者因长期血压升高, 自身压力感受器敏感性下降, 反射调节减弱^[14]。通过外源性激活压力感受器, 可增加传入延髓脑干的刺激信号, 从而增强迷走神经活性, 并抑制交感缩血管神经活动, 达到降低血压的目的。压力感受器刺激主要有电刺激和机械刺激两种方法。

1.2.1 压力反射电刺激疗法(颈动脉窦起搏)

2010 年 JACC 发表了植入 RheosTM 压力反射刺激装置的临床研究结果^[15], 该研究在欧洲的 9 个医学中心共纳入 45 例顽固性高血压患者, 植入设备 3 个月后平均血压下降了 21/12 mm Hg (1 mm Hg = 0.133 3 kPa)。首个验证 RheosTM 装置降压效果的随机双盲 Rheos Pivotal 研究^[16] 共入组 265 例高血压患者, 6 个月时试验组 (RheosTM 组) 的平均收缩压下降了 (16 ± 29) mm Hg, 而对照组 (RheosTM 关闭组) 下降了 (9 ± 29) mm Hg ($P=0.08$), 无统计学差异。但长期随访 (22~53 个月) 结果显示, 对治疗有反应的患者, 平均收缩压较术前下降了 (35 ± 31) mm Hg^[17]。一项 6 年的长期随访研究^[18] 同样提示, RheosTM 植入可持续降低患者的血压。由于第一代 RheosTM 系统操作复杂, 寿命较短, 需要每 3~5 年更换一次, 目前已被第二代产品 Barostim NeoTM 系统所取代。新系统由以前的 2 根电极简化为 1 根电极 (双侧起搏简化为单侧起搏), 且电极前端刺激器的体积也大大缩小。多项研究^[19-20] 均提示新系统具有明显的降压效果。迄今为止, 报道使用

Barostim NeoTM 治疗的最大队列研究^[21] 表明, 60 例顽固性高血压患者术后可获得持久的降压效果。

1.2.2 血管内压力反射增强疗法

血管内压力反射增强疗法是通过植入颈动脉支架增加颈动脉窦压力感受器环向和纵向壁应变, 进而使压力反射激活和血压降低。前瞻性、单臂 CALM-FIM 研究^[22] 显示, 30 例接受 MobiusHD 自膨胀支架植入的顽固性高血压患者, 6 个月平均血压和动态血压分别下降 24/12 mm Hg 和 21/12 mm Hg; CALM-FIM 研究^[23] 3 年随访结果显示, 患者诊室血压可降低 30/12 mm Hg。多中心、随机、双盲、假手术对照 CALM-START (NCT02804087)^{CT} 研究由于新型冠状病毒肺炎大流行等原因, 最终只纳入了 3% 的患者, 因入组人数不足而被迫终止。

正在进行的 CALM-2 (NCT03179800)^{CT} 研究是一项前瞻性、随机、双盲、假手术对照研究, 预计纳入 300 例患者, 主要终点是 6 个月时的平均 24 h 收缩压变化, 预期完成日期为 2025 年 5 月。期待该研究为 MobiusHD 装置在治疗顽固性高血压中的作用和安全性方面提供循证医学证据。

不管是通过电刺激, 还是植入支架引起牵拉刺激, 都是通过增强迷走神经活性来达到降压目的, 原理上可行有效。未来如果颈动脉窦压力感受器刺激疗法能进一步改良器械, 优化手术流程, 减少手术相关并发症, 同时进行假手术对照研究, 增加术后随访时间等, 那也将成为一项值得期待的高血压介入治疗选择。

1.3 动静脉瘘

全身血管阻力、心输出量和血容量是影响血压的最主要因素, 而动静脉瘘则是直接针对这一机制, 通过改变患者的血流动力学参数来影响血压。这也使其有别于上述几种调节交感神经系统的高血压治疗方法。

ROX CONTROL HTN 随机对照研究^[24] 旨在评估人工髂动静脉瘘对血压的影响, 方法是植入直径为 4 mm 的髂动静脉分流器。结果显示试验组 ($n=44$) 平均诊室收缩压降低 26.9 mm Hg ($P<0.0001$), 对照组 ($n=39$) 降低 3.7 mm Hg ($P=0.31$)。试验组和对照组 24 h 平均收缩压分别降低了 13.5 mm Hg 和 0.5 mm Hg。ROX CONTROL HTN 研究^[25] 1 年随访结果显示髂动静脉分流可发挥持续降压作用。对其中 1 例植入分流器的顽固性高血压患者进行了 3.5 年随访发现, 其降压作用可长期维持^[26]。在安全性方面, ROX CONTROL HTN 研究^[25] 中有 14 例 (33%) 患者出现静脉狭窄, 最终均通过植入静脉支架解决, 这引起

了业界广泛的担忧和关注。多中心、假手术对照 CONTROL HTN-2 研究由于在心力衰竭等并发症方面的顾虑而早期终止,给这一高血压创新疗法提前画上了句号。

该项高血压介入技术在创新性方面是毋庸置疑的,但存在一些缺点,如创伤较大、破坏正常的生理循环、下肢静脉曲张、静脉狭窄、心力衰竭等,因此未来是否可借鉴该技术的降压原理,开发出新的设备和手术方案,达到可调节血流动力学的目的,同时又能维持正常心脏功能,这也许是一个值得探索的方向。

1.4 心脏神经调节疗法

心脏神经调节疗法通过植入频率反应性心脏双腔起搏器,调节房室间期在较短(20~80 ms)和较长(100~180 ms)之间交替转换,进而改变自主神经系统兴奋性,激活迷走神经纤维,调节心脏的前后负荷,最终使高血压患者的收缩压降低。

2017 年发表的 Moderato 研究^[27]入组了 27 例高血压患者,给予起搏和电刺激治疗 3 个月后,发现收缩压下降了(16±15) mm Hg,动态收缩压下降了(10±13) mm Hg ($P < 0.01$),无器械相关不良反应。2021 年发表了 Moderato 随机对照双盲研究^[28]结果,研究入组了 47 例高血压同时具有双腔起搏器适应证的患者,所有患者均接受 Moderato 装置植入,6 个月随访时,治疗组的日间动态收缩压较随机分组前降低了(11.1±10.5) mm Hg,而对照组降低了(3.1±9.5) mm Hg,产生了(8.1±10.1) mm Hg 的净治疗效应($P = 0.012$)。未发生与 Moderato 装置相关的不良事件。

心脏神经调节疗法从机制上而言也是针对交感/迷走神经的高血压治疗方法,方法合理可行,且并发症发生率较低,同时与其他介入方法相比,具有根据患者的病情个体化调整其降压功能的优势。但该介入方法也存在一定的局限性,目前它更适用于合并起搏器植入指征的难治性高血压或单纯收缩期高血压患者,对于无起搏器植入指征的高血压患者,其安全性如何,成本/效益比能否接受,未来仍需更多的随机对照研究去证实。

1.5 其他介入治疗

其他介入治疗包括脑深部电刺激、迷走神经刺激、经导管颈动脉体消融术、减慢呼吸治疗等。

脑深部电刺激主要用于治疗帕金森病、癫痫、阿尔茨海默病等疾病。既往有少数的病例报告^[29-30]提示脑深部电刺激治疗可引起血管扩张、血压下降的效果。但该方法因创伤及风险较大,费用较高,目前尚未作为高血压治疗的手段而进行临床试验注册。

迷走神经刺激主要用于治疗特发性震颤、癫痫及认知功能障碍等疾病,用于高血压降压治疗的探索暂未进入临床阶段。

经导管颈动脉体消融术借鉴了外科切除颈动脉体的思路,EHJ 曾发表一篇摘要,探索了经导管进行右侧颈动脉体消融对难治性高血压患者血压的影响(NCT03314012)^{CT},结果显示单侧颈动脉体消融可使 6 个月时平均动态血压下降约 9 mm Hg,但最终结果未正式公布^[31-32]。

上述几种高血压介入方法证据相对较少,且术式较为复杂,并发症发生风险相对更高,短期内可能难以在高血压介入治疗领域有很大突破。

2 继发性高血压相关介入诊疗

继发性高血压病因较多,其中较为常见的主要包括肾实质性高血压、肾血管性高血压、原发性醛固酮增多症(primary aldosteronism, PA)等,涉及到介入诊疗的主要是肾血管性高血压和 PA,肾动脉狭窄的介入治疗已有专题进行介绍,该部分重点介绍 PA 相关介入诊疗进展。

2.1 经皮肾上腺静脉取血术

PA 是继发性高血压最常见的病因之一,PA 在高血压人群中的患病率为 5%~10%^[33-35]。PA 主要类型包括醛固酮瘤和特发性醛固酮增多症等,二者最佳治疗方式有所不同(前者为手术治疗,后者为药物治疗)。经皮肾上腺静脉取血(adrenal venous sampling, AVS)术作为 PA 分型诊断的金标准,其价值不言而喻。但由于其属于有创操作,且技术难度较大,对于手术医生的专业知识水平和操作经验都有较高的要求,因此实际开展 AVS 的医疗中心比例并不高。

一项全球多中心注册研究^[36]结果显示,AVS 的插管成功率为 80.1%。右肾上腺静脉插管失败是 AVS 成功率不高的主要原因,针对右肾上腺解剖变异大、插管困难等情况,国内外学者也做了很多的探索性研究。有学者^[37]发现术前通过肾上腺 CT 可识别 93.2% 的右侧肾上腺,并可能发现变异的肾上腺静脉,可提高 AVS 的成功率。右肾上腺静脉通常比左肾上腺静脉短,且多以锐角汇入下腔静脉,因此导致股静脉入路右肾上腺静脉插管成功率低,且股静脉穿刺本身存在出血、血肿、假性动脉瘤等风险。中国医学科学院阜外医院高血压团队^[38]于 2017 年在国际上率先报道经肘前静脉入路 AVS 的手术方式,其研究结果显示右侧、左侧和总取血成功率分别为 91.8%、93.3% 和 87.6%,较既往(80.1%)明显提高。目前该技术已广泛推广应用,本中心也于 2019 年开展。另外,识别肾上腺静脉形态对于成功插管也是十分重要的,研

究^[39]报道肾上腺静脉造影时下导静脉显影是右肾上腺静脉插管成功的可靠标志之一。南昌大学第二附属医院团队^[40]通过 347 例 AVS 总结经验发现,左肾上腺静脉对右肾上腺静脉采血具有积极的指导作用,约 80% 的右肾上腺静脉开口可通过左肾上腺静脉的位置锁定到特定区域,可大大提高右肾上腺静脉取血的成功率。

相较而言,经肘前静脉 AVS 介入医生的学习曲线较短,并发症发生率更低,患者舒适度更高,近年来在各级医院有较快的推广趋势,可大大提升 PA 的诊断分型及治疗比例。但仍道阻且长,未来需更多的 AVS 研究去探索 AVS 的技巧,提升 AVS 的总体成功率,使该技术变得更加简便、精准,让更多 PA 患者获益。

2.2 经皮超选择性肾上腺动脉栓塞术

经皮超选择性肾上腺动脉栓塞术 (superselective adrenal arterial embolization, SAAE) 是通过选择性向病变的肾上腺组织供血动脉注射乙醇等药物,使相应组织缺血坏死,达到减少醛固酮分泌的效果。20 世纪 90 年代日本学者最早报道 SAAE 治疗 PA, 中国地区最早探索 SAAE 的是中国医学科学院阜外医院高血压团队,其早期报道的小样本研究证明 SAAE 治疗 PA 安全有效^[41]。近年来国内较多中心^[42-43]开始推进该技术,并开始探索 SAAE 治疗特发性醛固酮增多症的效果,结果显示其明显优于药物治疗。安全性方面,一侧肾上腺通常有 3 支动脉供血,中国近年来研究^[44-45]证实栓塞单侧的 1~2 支动脉,可使醛固酮水平明显下降而不影响其正常功能,目前尚未有 SAAE 治疗后肾上腺功能不全、儿茶酚胺水平明显异常等报道。

近年来 SAAE 在中国也有一定发展,对于 SAAE 这项技术,如果掌握好原理和适应证,对于 PA 的治疗将会有很好的补充作用。但也不能盲目乐观,因为目前尚无 PA 患者接受 SAAE 治疗后远期预后的研究结果,同时缺乏 SAAE 治疗不同类型 PA 的疗效和安全性数据,以及与药物治疗(螺内酯、依普利酮等)、腹腔镜肾上腺切除术进行随机对照的研究,这些将是未来研究的重点。

2.3 其他继发性高血压相关介入技术

其他相对少见的继发性高血压病因,如库欣综合征、主动脉缩窄等,也涉及介入性诊断或治疗,包括岩下窦静脉取血、主动脉狭窄介入治疗(球囊扩张/支架植入)等,但因发病率较低,且技术相对固定成熟,适应证、技术要点及流程等方面较为明确,现暂不详细展开讨论。

3 总结及展望

本综述重点介绍了原发性高血压介入治疗进展,

同时也对部分重要的继发性高血压介入手术进行了介绍。总体而言,RDN 是目前最具有前景的高血压介入手术,相关的循证证据也较为丰富。经过近十多年来多项随机、假手术对照研究以及真实世界研究的探索,已逐渐成为难治性高血压可选择的治疗方法之一。颈动脉窦压力感受器刺激疗法降压效果明显,是一项值得进一步探索的介入方法。心脏神经调节疗法可能适用于合并起搏器植入指征的难治性高血压或单纯收缩期高血压患者。其他原发性高血压介入治疗手段尚处于探索阶段,需更多的随机对照试验来验证其有效性及安全性。随着微创介入技术的不断发展,PA 等继发性高血压的介入诊疗也取得了较大的发展。期待未来能有更多的介入技术应用于高血压领域,给高血压的诊疗带来新的突破。

参考文献

- [1] Mills KT, Stefanescu A, He J. The global epidemiology of hypertension [J]. *Nat Rev Nephrol*, 2020, 16(4): 223-237.
- [2] Lauder L, Mahfoud F, Azizi M, et al. Hypertension management in patients with cardiovascular comorbidities [J]. *Eur Heart J*, 2023, 44(23): 2066-2077.
- [3] Wang JG, Zhang W, Li Y, et al. Hypertension in China: epidemiology and treatment initiatives [J]. *Nat Rev Cardiol*, 2023, 20(8): 531-545.
- [4] Krum H, Schlaich M, Whitbourn R, et al. Catheter-based renal sympathetic denervation for resistant hypertension: a multicentre safety and proof-of-principle cohort study [J]. *Lancet*, 2009, 373(9671): 1275-1281.
- [5] Symplicity HTN-2 Investigators, Esler MD, Krum H, et al. Renal sympathetic denervation in patients with treatment-resistant hypertension (The Symplicity HTN-2 Trial): a randomised controlled trial [J]. *Lancet*, 2010, 376(9756): 1903-1909.
- [6] Bhatt DL, Kandzari DE, O'Neill WW, et al. A controlled trial of renal denervation for resistant hypertension [J]. *N Engl J Med*, 2014, 370(15): 1393-1401.
- [7] Townsend RR, Mahfoud F, Kandzari DE, et al. Catheter-based renal denervation in patients with uncontrolled hypertension in the absence of antihypertensive medications (SPYRAL HTN-OFF MED): a randomised, sham-controlled, proof-of-concept trial [J]. *Lancet*, 2017, 390(10108): 2160-2170.
- [8] Kandzari DE, Böhm M, Mahfoud F, et al. Effect of renal denervation on blood pressure in the presence of antihypertensive drugs: 6-month efficacy and safety results from the SPYRAL HTN-ON MED proof-of-concept randomised trial [J]. *Lancet*, 2018, 391(10137): 2346-2355.
- [9] Mahfoud F, Böhm M, Schmieder R, et al. Effects of renal denervation on kidney function and long-term outcomes: 3-year follow-up from the Global SYMPPLICITY Registry [J]. *Eur Heart J*, 2019, 40(42): 3474-3482.
- [10] Azizi M, Schmieder RE, Mahfoud F, et al. Six-month results of treatment-blinded medication titration for hypertension control after randomization to endovascular ultrasound renal denervation or a sham procedure in the RADIANCE-HTN SOLO trial [J]. *Circulation*, 2019, 139(22): 2542-2553.
- [11] Azizi M, Sanghvi K, Saxena M, et al. Ultrasound renal denervation for hypertension resistant to a triple medication pill (RADIANCE-HTN TRIO): a randomised, multicentre, single-blind, sham-controlled trial [J]. *Lancet*, 2021, 397(10293): 2476-2486.
- [12] Azizi M, Mahfoud F, Weber MA, et al. Effects of renal denervation vs sham in resistant hypertension after medication escalation: prespecified analysis at 6 months of the RADIANCE-HTN TRIO randomized clinical trial [J]. *JAMA*

- Cardiol, 2022, 7(12):1244-1252.
- [13] Azizi M, Saxena M, Wang Y, et al. Endovascular ultrasound renal denervation to treat hypertension; the RADIANCE II randomized clinical trial [J]. *JAMA*, 2023, 329(8):651-661.
- [14] 鄢学, 吴兰兰, 殷跃辉. 压力反射刺激疗法治疗顽固性高血压[J]. *心血管病学进展*, 2015, 36(1):48-51.
- [15] Scheffers IJ, Kroon AA, Schmidli J, et al. Novel baroreflex activation therapy in resistant hypertension: results of a European multi-center feasibility study [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 56(15):1254-1258.
- [16] Bisognano JD, Bakris G, Nadim MK, et al. Baroreflex activation therapy lowers blood pressure in patients with resistant hypertension: results from the double-blind, randomized, placebo-controlled Rheos Pivotal trial [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2011, 58(7):765-773.
- [17] Bakris GL, Nadim MK, Haller H, et al. Baroreflex activation therapy provides durable benefit in patients with resistant hypertension: results of long-term follow-up in the Rheos Pivotal Trial [J]. *J Am Soc Hypertens*, 2012, 6(2):152-158.
- [18] de Leeuw PW, Bisognano JD, Bakris GL, et al. Sustained reduction of blood pressure with baroreceptor activation therapy: results of the 6-year open follow-up [J]. *Hypertension*, 2017, 69(5):836-843.
- [19] Wallbach M, Lehnig LY, Schroer C, et al. Effects of baroreflex activation therapy on ambulatory blood pressure in patients with resistant hypertension [J]. *Hypertension*, 2016, 67(4):701-709.
- [20] Halbach M, Hickethier T, Madershahian N, et al. Acute on/off effects and chronic blood pressure reduction after long-term baroreflex activation therapy in resistant hypertension [J]. *J Hypertens*, 2015, 33(8):1697-1703.
- [21] Wallbach M, Born E, Kämpfer D, et al. Long-term effects of baroreflex activation therapy: 2-year follow-up data of the BAT Neo system [J]. *Clin Res Cardiol*, 2020, 109(4):513-522.
- [22] Spiering W, Williams B, van der Heyden J, et al. Endovascular baroreflex amplification for resistant hypertension: a safety and proof-of-principle clinical study [J]. *Lancet*, 2017, 390(10113):2655-2661.
- [23] van Kleef M, Devireddy CM, van der Heyden J, et al. Treatment of resistant hypertension with endovascular baroreflex amplification: 3-year results from the CALM-FIM study [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2022, 15(3):321-332.
- [24] Lobo MD, Sobotka PA, Stanton A, et al. Central arteriovenous anastomosis for the treatment of patients with uncontrolled hypertension (the ROX CONTROL HTN study): a randomised controlled trial [J]. *Lancet*, 2015, 385(9978):1634-1641.
- [25] Lobo MD, Ott C, Sobotka PA, et al. Central iliac arteriovenous anastomosis for uncontrolled hypertension: one-year results from the ROX CONTROL HTN trial [J]. *Hypertension*, 2017, 70(6):1099-1105.
- [26] Jung S, Ott C, Karg MV, et al. Application of a central iliac arteriovenous coupler device in severe treatment-resistant hypertension: a 3.5-year follow-up [J]. *J Hypertens*, 2018, 36(12):2471-2477.
- [27] Neuzil P, Merkely B, Erglis A, et al. Pacemaker-mediated programmable hypertension control therapy [J]. *J Am Heart Assoc*, 2017, 6(12):e006974.
- [28] Kalarus Z, Merkely B, Neuzil P, et al. Pacemaker-based cardiac neuromodulation therapy in patients with hypertension: a pilot study [J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(16):e020492.
- [29] Green AL, Wang S, Bittar RG, et al. Deep brain stimulation: a new treatment for hypertension? [J]. *J Clin Neurosci*, 2007, 14(6):592-595.
- [30] Ems R, Garg A, Ostergard TA, et al. Potential deep brain stimulation targets for the management of refractory hypertension [J]. *Front Neurosci*, 2019, 13:93.
- [31] Groenland EH, Spiering W. Baroreflex amplification and carotid body modulation for the treatment of resistant hypertension [J]. *Curr Hypertens Rep*, 2020, 22(4):27.
- [32] Schlaich M, Schultz C, Shetty S, et al. Transvenous carotid body ablation for resistant hypertension: main results of a multicentre safety and proof-of-principle cohort study [J]. *Eur Heart J*, 2018, 39(suppl 1):ehy565.1416.
- [33] Brown JM, Siddiqui M, Calhoun DA, et al. The unrecognized prevalence of primary aldosteronism: a cross-sectional study [J]. *Ann Intern Med*, 2020, 173(1):10-20.
- [34] Mulatero P, Stowasser M, Loh KC, et al. Increased diagnosis of primary aldosteronism, including surgically correctable forms, in centers from five continents [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2004, 89(3):1045-1050.
- [35] Reincke M, Bancos I, Mulatero P, et al. Diagnosis and treatment of primary aldosteronism [J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2021, 9(12):876-892.
- [36] Rossi GP, Rossitto G, Amar L, et al. Clinical outcomes of 1625 patients with primary aldosteronism subtyped with adrenal vein sampling [J]. *Hypertension*, 2019, 74(4):800-808.
- [37] Ota H, Seiji K, Kawabata M, et al. Dynamic multidetector CT and non-contrast-enhanced MR for right adrenal vein imaging: comparison with catheter venography in adrenal venous sampling [J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(3):622-630.
- [38] Jiang X, Dong H, Peng M, et al. A novel method of adrenal venous sampling via an antecubital approach [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2017, 40(3):388-393.
- [39] 阮浩航, 董徽, 安宣齐, 等. 下导静脉显影是右侧肾上腺静脉插管成功的可靠标志 [J]. *中国循环杂志*, 2023, 38(8):839-844.
- [40] Xiong H, Du L, Yang J, et al. The left adrenal vein: an important direction for right adrenal venous sampling [J]. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 2023, 25(12):1145-1150.
- [41] 董徽, 蒋雄京, 关婷, 等. 经皮超选择性肾上腺动脉栓塞治疗原发性醛固酮增多症 [J]. *中华高血压杂志*, 2013, 21(6):536-541.
- [42] Dong H, Zou Y, He J, et al. Superselective adrenal arterial embolization for idiopathic hyperaldosteronism: 12-month results from a proof-of-principle trial [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2021, 97(suppl 2):976-981.
- [43] Qiu J, Li N, Xiong HL, et al. Superselective adrenal arterial embolization for primary aldosteronism without lateralized aldosterone secretion: an efficacy and safety, proof-of-principle study [J]. *Hypertens Res*, 2023, 46(5):1297-1310.
- [44] Sun F, Liu X, Zhang H, et al. Catheter-based adrenal ablation: an alternative therapy for patients with aldosterone-producing adenoma [J]. *Hypertens Res*, 2023, 46(1):91-99.
- [45] Zhang H, Li Q, Liu X, et al. Adrenal artery ablation for primary aldosteronism without apparent aldosteronoma: an efficacy and safety, proof-of-principle trial [J]. *J Clin Hypertens (Greenwich)*, 2020, 22(9):1618-1626.

收稿日期:2024-01-15