

经皮去肾交感神经术治疗高血压专家建议

【摘要】 高血压是导致我国居民心血管疾病发病和死亡增加的首要危险因素，对人类健康构成严重威胁。经皮去肾交感神经术（RDN）作为药物治疗、生活方式干预之外的一种新型的微创介入治疗技术，已经得到国内外广泛关注。为了使该技术在国内外规范有序开展，中华医学会心血管病学分会和中华心血管病杂志编辑委员会组织相关专家，就适宜患者筛选、围手术期管理、消融策略选择等关键问题进行充分讨论并编写了该建议，进一步展望 RDN 技术的未来方向，以期推动我国 RDN 技术健康发展。

【关键词】 血压； 去肾交感神经术； 难治性高血压

高血压作为心血管疾病的首要危险因素，严重危害人类健康，是全球共同面临的重要公共卫生挑战 [1]。降压药物可有效降低高血压患者的心血管疾病风险，但真性难治性高血压的治疗仍是一个棘手的临床难题 [2]。在近百年的探索及十多年的临床实践中，经皮去肾交感神经术（renal denervation, RDN）作为一种创新的微创介入治疗手段，在高血压治疗领域取得了显著进展，为药物治疗血压控制不佳及药物不耐受等患者提供了新选择 [3- 4]。

2023 年 11 月，美国食品药品监督管理局基于 RADIANCE 系列研究 [5- 7] 和 SPYRAL HTN 系列研究 [8- 11] 的有效性和安全性结果，先后批准 Paradise™ 超声 RDN 系统（美国 RecorMedical 公司）和 Symplicity Spyral RDN 系统（美国美敦力公司）用于经生活方式改善和降压药物治疗后，血压仍不能得到良好控制的高血压患者的辅助治疗。2024 年 4 月，进口 Symplicity Spyral RDN 系统在我国获得批准进入临床。2024 年 8 月，2 款国产经皮肾交感神经消融设备

也在我国获批，标志着 RDN 疗法正式进入临床治疗选项。为使 RDN 技术在中国规范有序开展，中华医学会心血管病学分会和中华心血管病杂志编辑委员会组织相关专家在学习、分析国内外相关指南和共识基础上 [12- 15]，就 RDN 的研发历史、患者选择、围手术期管理、消融策略和未来科学发展方向等问题撰写了本建议，供临床医师参考。

一、RDN 的技术原理

RDN 是一种经皮去肾交感神经传导的介入治疗技术，通过减少肾脏交感神经兴奋对肾或外周环境等因素的影响，实现对血压长期控制的目的。肾脏是人体内血压调节的重要器官之一，其交感神经活动是血压维持和升高的关键环节。肾交感神经主要包括神经节前、节后传出交感神经纤维以及少量的传入神经纤维。以上神经纤维源自腹腔神经丛及其分支、腰内脏神经丛和肠系膜神经丛，并伴随着肾动脉和肾静脉穿过肾门，沿着肾动脉、叶间动脉、弓形和小叶间动脉至入球小动脉及出球小动脉等血管周围均匀分布 [16- 17]。当肾交感神经传出神经过度激活时，可诱导肾血管收缩，肾血流减少，激活肾素- 血管紧张素- 醛固酮系统 (renin- angiotensin- aldosterone system, RAAS)。同时，也可刺激肾小管上皮细胞 $\alpha 1$ 及 β 肾上腺素受体，促进肾小管钠- 水重吸收，增加水钠潴留及血管内容量，最终导致血压上升。另一方面，肾交感传入神经激活亦可引起全身交感神经活性的增强，并促进下丘脑激素及血浆去甲肾上腺素的释放，从而导致外周血管阻力增加、心肌收缩力增强、血压升高 [18]。肾交感神经呈网状分布，主要集中于肾动脉外膜及其周围，这为肾动脉内送入导管进行射频消融提供可能性，从肾血管内释放能量即可选择性破坏肾交感传入和传出神经 [19- 20]。因此，通过 RDN 技术阻断肾交感传出与传入神经，从而抑制交感神经及 RAAS 系统

的激活、减少水钠潴留、降低肾血管阻力及肾素的分泌等内源性调节机制，最终达到降低血压的效果。

二、RDN 的发展历史

1. RDN 的技术方式及特点：目前用于 RDN 的消融方法主要分为射频消融、超声消融、酒精化学消融、冷冻消融，不同原理的 RDN 消融技术各有不同的优缺点（表 1）。其中，射频消融和超声消融是现阶段所应用的相对成熟的技术。

表 1 不同 RDN 消融技术的特点及优缺点

| 项目 | 射频消融 ^a | 超声消融 ^a | 化学消融 | 冷冻消融 |
|------|--|--|--|--|
| 原理 | 通过射频消融导管使肾动脉与导管电极接触部位温度上升，产生局部热效应，使神经组织变性、坏死，从而阻断交感神经信号传导，达到消融目的 | 通过血管内导管或体外超声波发射释放高频超声波，使局部组织温度升高，在不接触血管内膜的情况下通过热效应实现肾动脉外膜交感神经的环状消融 | 通过导管微穿刺向肾血管周围注射无水酒精或神经毒素，使神经细胞发生脱水、蛋白质变性，从而消融神经实现功能阻滞 | 通过 RDN 导管将冷冻剂（通常为液氮）传递到肾动脉壁，使局部组织温度降至 -20℃ 以下，通过低温破坏交感神经纤维 |
| 主要导管 | Simplicity Spyral(美国美敦力公司) ^b SyMapCath(中国信迈医疗) ^b Netrod(中国魅丽纬叶) ^b Vessix(美国波科公司) Iberis(中国百心安公司) EnligHTN(美国圣犹达医疗) | Paradise(美国 RecorMedical 公司) TIVUS(以色列 CardioSonic 公司) Kona 系统(美国 Kona 医疗) | Peregrine(美国 Ablative Solutions 公司) | CryoFocus(中国康洋生物科技) |
| 临床研究 | SYMPPLICITY HTN-1、2、3 the Global; SYMPPLICITY Registry; SPYRAL HTN-ON MED; SPYRAL HTN-OFF MED; Netrod-HTN; Iberis-HTN; SMART 研究 | RADIANCE-HTN SOLO; RADIANCE-HTN TRIO; RADIANCE II; WAVE I-III | TARGET BP I; TARGET BP OFF-MED | 目前仅有临床前研究及少数病例研究 |
| 优点 | 最早开始进行大型临床研究，技术成熟，证据充分，设备简便，操作难度低 | 组织穿透力更强，消融效果更好，并可保护动脉壁；可实现体外无创消融，避免射线及造影剂损害 | 非热能消融，设备结构简单，操作简便，成本较低；避免热消融存在的能量损失，动脉内膜及中膜几乎无损伤，消融面积及深度更大 | 球囊导管更为贴合血管走行，覆盖面广，神经损伤率高；基于液氮通过深低温能量实现的冷消融相较热消融更为彻底 |
| 缺点 | 需要精确定位和操作，可能导致血管壁其他组织损伤；能量分布不均匀 | 超声术中成像可能受肋骨遮挡以及肥胖等因素影响；对患者技术水平要求更高，器械设备复杂；存在空化效应、皮肤损伤等潜在风险 | 潜在药物弥散风险，安全性及长期疗效有待进一步研究 | 设备较复杂，操作时间长，具体疗效及安全性有待通过更多临床研究验证 |

注：RDN 为经皮去肾交感神经术；^a除 SyMapCath(中国信迈医疗)为单电极导管外，其余均为多电极导管；^b已在中国上市；^c除 Kona 系统(美国 Kona 医疗)用于体外超声消融外，其余用于经血管体内超声消融

射频消融是指消融导管经过动脉或静脉到达靶组织，射频电流流经该阻抗组织时，电压降低，产生热效应，使细胞变性、坏死，进而达到消融目的 [8- 10, 21]。射频 RDN 技术较为成熟，操作简便，创伤小且恢复快，可准确控制能量释放的位置与程度。但由于高频电流产生的热量可能会扩散到非目标区域，因此能量控制较为困难，容易造成周围血管壁的其他组织如淋巴组织损伤。同时，射频

能量的释放也可能受到组织阻抗等因素的影响，进而导致能量分布不均匀。

超声消融是利用高频超声波传送能量实现动脉外膜交感神经消融的技术，其核心原理是通过血管内导管或体外声波发射器发射高频超声波，在不接触血管内膜的情况下，精准控制穿透深度，使局部组织温度升高，破坏交感神经纤维 [5-6]。因此，超声消融技术非接触式的操作方法极大降低了机械损伤及术后并发症风险，且避免了射线与造影剂损害。同时，超声波具有渗透率高和深度广的优势，也有效避免了消融位点不足的劣势。但相比射频消融，超声消融器械设备复杂、操作难度较大，对超声焦点位置的控制要求非常精确，增加了手术的复杂性。此外，超声分辨率有限，容易受肋骨遮挡及肥胖等因素影响，导致术中定位难度增加。

2. RDN 的发展历程与进展：早在 1953 年初期，Thompson 和 Smithwick [22] 的研究报道通过切除内脏交感神经的方式来治疗难治性高血压。但由于术后随访中出现肠道、膀胱功能异常，体位性低血压及性功能障碍等严重并发症影响了治疗效果，该外科手术方法被取消。随着微创介入技术的发展，经导管 RDN 应运而生，自 2009 年 SYMPPLICITY HTN- 1 研究发表以来，Krum 等 [23] 报道使用基于 Symplicity Flex 消融导管（单电极消融导管，美国美敦力公司）系统的 RDN 技术可显著降低血压且无严重不良事件。随后的药物对照研究 SYMPPLICITY HTN- 2 试验再次证实 RDN 具有良好的降压效果与安全性 [24]。然而，2014 年公布的随机、假手术对照研究——SYMPPLICITY HTN- 3 试验，未得到预期降压效果的结果，其后研究者对 RDN 患者筛选、器械和试验设计等方法进行革新 [25- 27]。2015 年使用 Symplicity Spyral™ 四电极消融导管进行的多中心临床试验（SPYRAL HTN- OFF MED [9]、SPYRAL HTN- ON MED [10] 等）的研究结果陆续发布，

通过严谨的基线评估，在手术指征把控、强调假手术对照、改进多电极消融导管，增强患者随访依从性等方面加强改进，再次证实 RDN 治疗高血压安全、有效，其疗效和降压效果独立于伴随的降压药物 [8- 10, 21]。同时，在后续的随机对照试验中，RADIANCE- HTN SOLO 与 RADIANCE- HTN TRIO 研究通过使用 Paradise 导管再次证实经血管内超声行 RDN 同样可有效降低难治性高血压患者的血压 [5- 6]。随着一系列随机对照试验和真实世界研究结果的陆续发布 [28- 30]，欧洲高血压学会、美国心血管造影及介入学会等国际学术组织均发布相关临床共识，推荐了采用 RDN 降低血压的治疗策略 [12, 31- 32]。

此外，2023 年也公布了一系列国产射频 RDN 系统的原创研究：SMART、Netrod- HTN 和 Iberis- HTN 研究等的 6 个月的随机、假手术对照的临床试验结果均证实 RDN 在治疗未被控制的原发性高血压方面安全有效 [33- 35]。上述 3 项临床试验均采用我国自主研发的 RDN 导管及设备，其中 SMART 研究应用选择性消融导管，能够标测定位神经分布；Netrod- HTN 研究则采用网篮状六电极消融系统，形成连续能量场覆盖全象限的交感神经；Iberis- HTN 研究使用了多电极肾动脉射频消融系统。然而，我国的 RDN 临床试验依然处于起步阶段，未来仍需要进行更多的大规模临床研究。

三、RDN 临床研究证据

1. RDN 治疗高血压的临床数据解读：目前多数临床试验选用诊室血压、24h 动态血压作为判断 RDN 疗效的评估标准，同时采用血清或尿液药物质谱测定法评估药物依从性 [36]。研究显示，RDN 可降低未服用降压药物（SPYRAL HTN- OFF MED Pilot [9]、SPYRAL HTN- OFF MED Pivotal [8]、RADIANCE- HTN SOLO [6]）和服用降压药物（SPYRAL HTN- ON MED Pilot [10]、RADIANCE- H

TN TRIO [5]、Netrod- HTN 研究 [34]、SMART 研究 [33]) 的高血压患者的 24h 动态血压和诊室血压, 结果提示 RDN 组较未进行药物干预组或药物干预组疗效更佳 [5- 6, 8- 10, 21]。RDN 在 24h 昼夜节律周期内持续降低血压, 具有独立于降压药物的药代动力学、药物依从性和给药方案的“全天候”效应。为了更好地评估 RDN 降压效果, 国内外临床研究引入了胜率分析, 包含血压降低和 (或) 药物负荷指数降低的复合终点 [37]。近期发表的 HTN- ONMed 研究的次要临床终点分析 [11]、RADIANCE 系列研究 [38] 以及 SMART 研究分析 [33] 显示, RDN 组患者药物负荷指数显著降低。此外, 血压靶目标范围内的时间因可反映一段时间内血压达标的时间百分比, 也被用于评估 RDN 的疗效 [39]。真实世界 Symplicity 登记研究 [30] 以及 SPYRAL HTN- ON MED 研究 [21] 显示, RDN 可显著提高患者的血压靶目标范围内的时间, 进一步分析显示该指标越高, 心血管事件发生风险越低, 且两者之间的关系独立于传统的心血管危险因素 [21, 30]。总之, 更丰富的 RDN 临床疗效评估方法有助于更全面、准确地评价 RDN 介入治疗技术给高血压患者带来的临床获益。

2. RDN 降压疗效的持久性与安全性: 真实世界 Symplicity 登记研究 [28]、SPYRAL HTN- ON MED 研究 [21] 和 RADIANCE- HTNSOLO 研究 [40] 的长期随访数据表明, RDN 在高血压患者中的降压疗效至少持续 3 年, 并随着时间的推移, 血压呈现持续下降的趋势 [21, 28]。经过 3 年随访, 肾功能正常或轻、中度受损的高血压患者 RDN 治疗并未增加新发肾动脉狭窄 (发生率 < 1%) 或肾功能恶化的风险。

对于 3 年以上的远期结果, 近年发表的长期随访研究也证实了 RDN 良好的降压疗效。Sesa- Ashton 等 [41] 的研究报道了 66 例难治性高血压患者 RDN 术后

随访 9 年的结果，RDN 能显著且稳定地降低高血压患者诊室血压和动态血压，同时对肾功能无不良后果。此外，Wang 等 [42] 的研究通过对 RDN 术后患者进行长期随访，明确了 RDN 术后 10 年的长期血压下降情况，诊室收缩压较基线下降 36 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)，动态收缩压较基线下降 14mmHg，且在长期随访中未观察到与 RDN 手术相关的主要不良事件。另一项来自德国的单中心、单臂、前瞻性的 RDN 术后 10 年随访结果显示，RDN 的降压效果在术后 1 年、2 年甚至 10 年持续存在，而肾小球滤过率评估显示肾功能下降幅度符合预期的增龄性下降 [43]。RDN 的降压有效性可持续 3~10 年，且随时间推移降压效果有增强趋势，同时，研究证实 RDN 手术或器械相关的严重不良事件发生率低，安全性良好。

3. RDN 相关共识指南更新及推荐（表 2）：随着多项随机对照试验和真实世界研究结果的陆续公布，全球各学术组织和机构陆续发布 RDN 相关指南及共识。2019 年发布的中国台湾高血压学会/中国台湾心脏病学会高血压专家共识对 RDN 做了较为积极的推荐，除难治性高血压患者之外，高血压合并靶器官损害或心血管事件、药物依从性差、药物不耐受等的患者均可作为 RDN 候选人群 [44]。亚洲肾脏去神经治疗联盟 2020 专家共识提出，RDN 适应证应基于患者血压控制状态（顽固性高血压或未控制的高血压）与病理生理学（清晨高血压、夜间高血压、阻塞性睡眠呼吸暂停低通气综合征等或孤立性收缩期高血压老年患者），并重点针对交感神经过度兴奋患者做出推荐 [45]。2022 年马来西亚工作组关于 RDN 治疗高血压的共识声明指出，RDN 不应被视为最后的治疗手段，而应作为初始治疗方案 [46]。2023 年荷兰 RDN 专家共识声明指出，RDN 是一种辅助治疗方式，其疗效已得到证实，对采用指南推荐的常规药物治疗仍未控制的高血压患者以及 ≥ 3 类抗高血压药物不耐受患者的血压控制有改善作用 [14]。同年 2 月欧洲心

脏病学学会高血压委员会和欧洲心血管介入协会联合发布关于 RDN 治疗高血压的共识文件，指出 RDN 可作为顽固性高血压成年患者的辅助治疗选择 [12]。2024 欧洲心脏病学会高血压管理指南推荐 RDN 用于难治性高血压患者、心血管高风险且使用少于 3 种降压药血压未控制的高血压患者 [13]。

表 2 指南和共识对 RDN 推荐的主要内容

| 名称 | 发布时间 (年份) | 主要相关内容 |
|------------------|--------------|---|
| THS/TSOC 高血压专家共识 | 2019 | 适应证: 诊室血压 $\geq 150/90$ mmHg 和日间动态收缩压 ≥ 135 mmHg 或舒张压 ≥ 85 mmHg, 且肾动脉解剖符合条件, $eGFR \geq 45$ $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ (II a, B) 无论是否使用抗高血压药物, 24 h 动态血压 $\geq 140/80$ mmHg, 且肾动脉解剖符合条件, $eGFR \geq 45$ $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ (II a, B) |
| 亚洲 RDN 联盟专家共识 | 2020 | 血压目标在难以达到和维持的情况下, RDN 可单独作为 1 种降压策略, 也可与药物治疗联合使用, 心血管疾病风险较高的群体应考虑 RDN |
| 马来西亚工作组共识声明 | 2022 | 亚洲人群适应证: 交感神经过度活跃为高血压主要机制的年轻高血压患者; 高血压合并症患者; 靶器官损伤患者; 多种合并症患者使用多药治疗; 不耐受/不依从降压药物的患者 |
| 荷兰专家共识声明 | 2023 | 适应证: 有高血压病史; 试图用 3 种或更多种抗高血压药物 (包括至少 1 种利尿剂) 控制至少 3 个月, 或有记录证明对至少 3 种不同类别的抗高血压药物不耐受; 诊室血压未达到指南推荐的高血压标准 [收缩压 ≥ 140 mmHg 和 (或) 舒张压 ≥ 90 mmHg], 但动态血压监测中 24 h 平均收缩压 ≥ 130 mmHg 和 (或) 24 h 平均舒张压 ≥ 80 mmHg; 排除继发性高血压 |
| ESC/EAPCI 共识文件 | 2023 | 适应证: 未控制的高血压患者, 即接受 ≥ 3 种抗高血压药物治疗且 $eGFR \geq 40$ $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$ 的未控制的顽固性高血压 (诊室血压 $\geq 140/90$ mmHg, 经 24 h 动态收缩压 ≥ 130 mmHg 或日间收缩压 ≥ 135 mmHg 证实) 的成年患者, 但应排除高血压的继发原因 |
| ESC 高血压管理指南 | 2024 | 推荐用于难治性高血压患者 (II b, B); 心血管疾病风险高且使用少于 3 种抗高血压药物治疗血压未控制的高血压患者 (II b, A); 不推荐作为一线降压治疗方法 (III, C); 不推荐用于中重度肾功能不全患者 ($eGFR < 40$ $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$) (III, C); 不推荐用于继发性高血压患者 (III, C) |

注: RDN 为经皮去肾交感神经术; THS 为中国台湾高血压学会; TSOC 为中国台湾心脏病学会; ESC 为欧洲心脏病学会; EAPCI 为欧洲经皮心血管介入协会; $eGFR$ 为估算的肾小球滤过率; 1 mmHg=0.133 kPa

四、RDN 治疗高血压的临床应用建议

1. RDN 的适应证: 根据目前国内外研究结果及指南共识 [12, 15, 31], 本建议推荐 RDN 治疗高血压的适应证如下: (1) 真性难治性高血压: 动态血压监测结果证实的高血压, 经过生活方式和药物干预 1 个月以上仍无法有效控制的难治性高血压患者, 包括诊室血压 $\geq 140/90$ mmHg、24h 动态收缩压 ≥ 130 mmHg 或者日间平均收缩压 ≥ 135 mmHg、服用包含利尿剂在内的 ≥ 3 种降压药物, 血压仍未得到控制, 且患者估算的肾小球滤过率 $\geq 40 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73 \text{ m}^{-2}$; (2) 真性难治性高血压合并靶器官损害, 接受了多种最大耐受剂量降压药物, 有靶器官损害证据或合并动脉粥样硬化性心血管疾病; (3) 降压药物长期不耐受: 服用降压药物可能出现影响生活质量的不良作用; (4) 用药依从性差: 对服用多种抗高血

压药物（尤其是钙拮抗剂、血管紧张素转化酶抑制剂、血管紧张素受体拮抗剂、血管紧张素受体脑啡肽酶抑制剂、 β 受体阻滞剂、噻嗪类利尿剂和螺内酯等）依从性差的患者；（5）心血管事件高风险：在综合考虑高血压靶器官损害、心血管并发症等因素的整体心血管风险评估后，对于肾动脉解剖符合条件的心血管疾病高风险患者，RDN可作为降压治疗的1种方式；（6）常规使用RDN治疗高血压：符合RDN适应证并有手术意愿的患者在充分了解该疗法的优点和局限性后，通过医患共同商讨决策，患者倾向于采用RDN治疗高血压。

2. RDN的禁忌证：基于现有的循证医学证据，RDN的禁忌证包括：（1）未经治疗的继发性高血压；（2）慢性肾脏病或肾动脉解剖结构不适宜手术（肾动脉狭窄 $>50\%$ 、肾动脉瘤、肾动脉畸形、肾动脉纤维肌发育不良等）；（3）肾移植或肾功能严重受损（估算的肾小球滤过率 $<40\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot 1.73\text{m}^{-2}$ ）；（4）6个月内发生过心脑血管事件（稳定或不稳定型心绞痛、心肌梗死、脑卒中等）；（5）未治疗的严重心脏瓣膜病；（6）年龄 <18 岁、孕妇以及对比剂或麻药过敏；（7）1型糖尿病；（8）严重肝功能不全。

以上患者目前不建议接受RDN治疗。随着医学研究的深入，RDN也许能够在更多类型的高血压患者中得到应用。目前对于上述特定患者群体应谨慎选择治疗方法，以确保患者的安全和治疗效果。

3. RDN高反应性指标筛选建议：对RDN高反应性指标进行筛选有助于预测患者对RDN的反应，提高RDN应答率。结合国内外研究进展，目前本建议推荐的RDN治疗高反应性指标主要有以下6个方面。

（1）基础心率：基础心率增快与更显著的降压效果相关。SPYRALHTN-OFFMEDPivotal研究中未服用高血压药物患者的基线心率与其RDN疗效相关，与基

线心率 <70 次/min 的高血压患者相比，基线心率 ≥ 70 次/min 的高血压患者射频消融 RDN 术后降压效果更显著 [47]。

(2) 肾素活性：血浆肾素活性 (plasma renin activity, PRA) 可能与 RDN 降压效果呈正相关。SPYRAL HTN- OFF MED Pivotal 研究中未服用高血压药物患者的基线 PRA 与其 RDN 治疗 3 个月后血压变化相关， $PRA \geq 0.65 \text{ ng} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 的高血压患者射频消融 RDN 术后的降压效果较 $PRA < 0.65 \text{ ng} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 的高血压患者更显著 [48- 49]。

(3) 肥胖：肥胖可能与更差的 RDN 降压效果相关。有研究纳入 101 例难治性高血压患者，分析其基线体重指数 (body mass index, BMI) 与射频消融 RDN 治疗 6 个月后血压变化的关系，结果显示， $BMI \leq 29.9 \text{ kg/m}^2$ 的高血压患者射频消融 RDN 术后的降压效果较 $BMI \geq 30.0 \text{ kg/m}^2$ 的高血压患者更显著 [50]。

(4) 年龄：中青年高血压患者接受 RDN 治疗的降压效果更佳 [51]。

(5) 动态动脉硬化指数 (ambulatory arterial stiffness index, AASI) 可独立预测 RDN 疗效。有研究入组 111 例难治性高血压患者以分析不同 AASI 对 RDN 术后降压效果的影响。AASI 的计算公式为： $AASI = 1 - 24\text{h 动态舒张压} / 24\text{h 动态收缩压}$ 的线性斜率。该研究结果显示， $AASI < 0.5$ 的高血压患者射频消融 RDN 术后的降压效果较 $AASI \geq 0.5$ 的高血压患者更显著 [52]。

(6) 皮肤组织钠含量：一项研究采用临床 3.0T 钠磁共振成像系统，通过膝部射频鸟笼线圈测量患者左小腿肌肉和皮肤组织钠含量。结果显示，肌肉及皮肤组织钠含量较低的高血压患者 RDN 术后血压下降幅度更大，与基线 24h 动态血压状态无关 [53]。

4. RDN 最佳消融策略：除了适宜患者和高反应指标的筛选，RDN 降压效果也

会受不同消融策略影响。目前，RDN 的消融策略逐渐从既往的“经验性消融”转变为“精准消融” [33, 54- 55]。经过多年探索，国内外学术组织及机构对 RDN 的最佳消融策略已经达成一定共识，即基于肾神经解剖分布和功能特征，采取多位点纵深阻断和选择性消融 [56]。消融策略主要包括主干消融（必须消融）和主干消融联合分支消融，临床实践中需针对不同病情及导管器械选择合适的消融策略。然而，如何精准匹配消融策略与个体化病情，仍需通过大量的临床研究 与经验积累来逐步验证和完善。

5. RDN 围术期患者规范化管理：术前、术中及术后均需对患者进行详细评估及规范化管理以确保 RDN 的高效实施。本建议推荐 RDN 术前的规范化管理措施包括：（1）术者需全面评估患者的高血压病情以及治疗的可行性，排除继发性高血压的可能，确保患者术前血压控制到相对稳定的状态；（2）进行必要的术前检查，其中，计算机断层扫描血管造影和磁共振血管造影是检测肾动脉解剖异常的首选成像方案，术前肾动脉解剖学特征的明确（有无副肾动脉、血管直径是否符合标准等）有助于判断是否适宜手术并制定精准方案；（3）充分考虑患者的治疗意愿，并向患者详细解释手术过程及可能的获益与风险，在进行心血管疾病风险评估和心理评估后方可实施手术。

本建议推荐 RDN 术中的规范化管理措施包括：（1）手术实施过程中应严密监测患者各项生命体征，特别是血压与心率变化；（2）规范术中麻醉镇痛及抗凝抗血小板治疗，识别并处理各项不良反应；（3）根据患者具体情况和肾交感神经分布特点制定合适的消融策略，如主干消融或主干联合分支消融，以达到最佳降压效果。

本建议推荐 RDN 术后的规范化管理措施包括：（1）如无禁忌证，于术后当

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/548005120100007021>