Journal für
Kardiologie
Austrian Journal of Cardiology
Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislauferkrankungen

Renale Sympathikusdenervierung bei arterieller Hypertonie: Update 2024 //Renal sympathetic denervation in arterial hypertension: Update 2024

Weber T

Journal für Kardiologie - Austrian Journal of Cardiology 2024; 31 (11-12), 281-284

Homepage:
www.kup.at/kardiologie
Online-Datenbank mit Autoren- und Stichwortsuche

ÖKG Österreichische Kardiologische Gesellschaft
Offizielles Partnerjournal der ÖKG

EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY®
Member of the ESC-Editor's Club

Offizielles Organ des Österreichischen Herzfonds

ACVC Association for Acute CardioVascular Care
In Kooperation mit der ACVC

Indexed in ESCI part of Web of Science
Indexed in EMBASE

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz
P.b.b. 02Z031105M, Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21 Preis: EUR 10,–

Medtronic
Engineering the extraordinary

Expert 2 Expert 2026

15.01. – 17.01.2026, Linz

Gemeinsam für eine bessere Patientenversorgung.

OmniaSecure | Micra 2 | Aurora | Affera | LINQ II | TYRX

Vorabanmeldung aufgrund limitierter Plätze notwendig.
Bei Interesse bitte bei Ihrem Medtronic Außendienstmitarbeiter anfragen.

For personal use only. Not to be reproduced without permission of Krause & Pachernegg GmbH.

Renale Sympathikusdenervierung bei arterieller Hypertonie: Update 2024

T. Weber

Kurzfassung: Der renalen Sympathikusdenervierung (RDN) als interventionellem Verfahren zur Behandlung von arterieller Hypertonie liegt der bekannte Zusammenhang zwischen Aktivierung des sympathischen Nervensystems und dem Auftreten und der Progression von Bluthochdruck zugrunde. Nach gemischten Ergebnissen von Studien der ersten Generation konnte in einer Serie von qualitativ hochstehenden Studien der blutdrucksenkende Effekt der Intervention bewiesen werden. Gegenwärtig sind ein Radiofrequenz-basiertes und ein Ultraschall-basiertes System zur RDN kommerziell erhältlich. Für beide konnte die Blutdrucksenkung und die Komplikationsarmut des Eingriffs belegt werden. Dies führte zu einem „Premarket Approval" für beide Systeme durch die „Food and Drug Administration" in den USA und zu einer Genehmigung der Erstattung in Österreich. In diesem Übersichtsartikel werden die Daten zur Wirkung und zur Sicherheit zusammengefasst, der Schwerpunkt liegt auf internationalen Empfehlungen für die Durchführung der RDN in der klinischen Praxis.

Schlüsselwörter: Renale Sympathikusdenervierung, arterielle Hypertonie, resistente Hypertonie

Abstract: Renal sympathetic denervation in arterial hypertension: Update 2024. Renal sympathetic denervation (RDN) as an interventional treatment for arterial hypertension is based on the well-known contribution of the sympathetic nervous system to development and maintenance of hypertension. Following mixed results in first-generation studies, a series of high-quality clinical trials firmly established the blood pressure lowering effect of RDN. Currently, a radiofrequency-based and an ultrasound-based system are commercially available. Both have proven efficacy in terms of blood pressure lowering, and a good safety profile. This led to the premarket approval for both systems by the Food and Drug Administration in the US, and to the acceptance for reimbursement in Austria. This review summarizes efficacy and safety data for RDN, and focuses on international recommendations for the use of the procedure in clinical practice. **J Kardiol 2024; 31 (11–12): 281–4.**

Key words: renal sympathetic denervation, arterial hypertension, resistant hypertension

Einleitung

Basierend auf der Erkenntnis, dass eine erhöhte Aktivität des sympathischen Nervensystems eine wichtige Rolle für die Entwicklung und Progression von arterieller Hypertonie spielt, wurden schon vor knapp 100 Jahren – also deutlich vor der Entwicklung blutdrucksenkender Medikamente – chirurgische Verfahren (z. B. thorakolumbale Splanchniektomie) bei schwerer Hypertonie durchgeführt [1]. Bei maligner Hypertonie konnte dadurch eine Blutdrucksenkung und deutliche Verbesserung der damals infausten Prognose der Erkrankung erzielt werden, wenngleich die Operationen aus heutiger Sicht inakzeptable Nebenwirkungen hatten.

Am Beginn des 21. Jahrhunderts begann die Entwicklung minimal-invasiver kathetergestützter Systeme zur renalen Sympathikusdenervierung (RDN), die das Ziel hatten, sympathische Nervenfasern in der Adventitia der Nierenarterien zu veröden. Die Nieren weisen eine besonders reiche sympathische Innervation auf, über Efferenzen und Afferenzen gibt es enge Zusammenhänge mit sympathischen Zentren im ZNS. Die Publikation der ersten RDN-Studie am Menschen 2009 [2], in der bei 50 Patienten mit unkontrollierter Hypertonie, die unter einer medikamentösen Mehrfachtherapie standen, eine RDN mittels Radiofrequenz-Ablation durchgeführt wurde und in der es zu einem starken Blutdruckabfall (–22/–11 mmHg Office-Blutdruck nach 6 Monaten) kam, löste rasch einen Hype aus, besonders weil die Ergebnisse in einer nachfolgenden randomisierten Studie bestätigt wurden (Office-Blutdrucksenkung –32/–12 mmHg nach 6 Monaten) [3]. Es kam zu einer raschen Zunahme der RDN-Eingriffe auch in Österreich, wobei die „Real-life"-Ergebnisse im österreichischen RDN-Register mit 407 Patienten gut mit internationalen Studien vergleichbar waren [4].

Dem anfänglichen Enthusiasmus folgte nach Publikation der ersten großen randomisierten Studie mit einem Sham-kontrollierten Design (SYMPLICITY HTN-3) [5] im Jahr 2014 eine Ernüchterung, weil in dieser Studie nur ein minimaler Blutdruckabfall im Vergleich zur Sham-Gruppe gefunden wurde. Folgerichtig wurde in den Hypertonie-Guidelines 2018 der European Society of Cardiology (ESC)/European Society of Hypertension (ESH) nicht empfohlen, RDN außerhalb von Studien durchzuführen [6]. Der mangelhafte Erfolg der SYMPLICITY-HTN-3-Studie konnte später auf verschiedene Ursachen wie schwankende Adhärenz zur medikamentösen antihypertensiven Therapie, fehlende Erfahrung der Interventionisten, und suboptimale technische Möglichkeiten für zirkumferentielle Ablationen zurückgeführt werden, sodass die RDN-Studienprogramme trotz des enttäuschenden Ergebnisses fortgesetzt wurden.

RDN-Studien der zweiten Generation

Aufbauend auf den Erfahrungen der frühen Studien wiesen die neuen Studien folgende Merkmale auf:
- bessere Einschlusskriterien für Patienten, wobei ein 24-Stunden-Blutdruckmonitoring obligat war,
- bessere Überwachung der Adhärenz zu antihypertensiven Medikamenten mittels obligater Nachweismethoden für Antihypertensiva in Blut oder Harn,
- Weiterentwicklung der RDN-Katheter, die eine 4-Quadranten- bzw. 360-Grad-Ablation automatisiert ermöglichen,
- bessere Qualitätskontrolle der Eingriffe durch lokales und zentrales Monitoring,

Eingelangt und angenommen am 30.06.2024

Aus der Abteilung für Innere Medizin II, Kardiologie and Intensivmedizin, Klinikum Wels-Grieskirchen, Wels

Korrespondenzadresse: PD Dr. Thomas Weber, Abteilung für Innere Medizin II, Klinikum Wels-Grieskirchen, A-4600 Wels, Grieskirchnerstraße 42; E-Mail: thomas.weber@klinikum-wegr.at

– obligates Sham-kontrolliertes Design der Studien, um Bias jeglicher Art zu minimieren. Der Sham-Eingriff bestand in einer konventionellen Angiographie der Nierenarterien, ebenfalls in Analgosedierung.
– Durchführung der Studien in relevanten Patientenkollektiven, z. B. bei Patienten, die keine Antihypertensiva einnahmen („proof of principle") und bei Patienten unter antihypertensiver Medikation (der häufigeren Situation im klinischen Alltag entsprechend).

Die Ergebnisse dieser Studien der zweiten Generation waren konsistent: Durch RDN kam es zu einer klinisch relevanten Senkung des 24-Stunden-Blutdrucks im Vergleich zum Sham-Eingriff (Tab. 1). Zusammengefasst zeigt sich, dass RDN im Vergleich zur Sham-Gruppe den Blutdruck signifikant und klinisch relevant senkt. Die Reduktion des systolischen 24-Stunden-Blutdrucks lag bei etwa 4–7 mmHg und somit im Bereich eines (wirksamen) Antihypertensivums. RDN senkt den Blutdruck bei Patienten mit milder, unkontrollierter und resistenter Hypertonie, also bei den meisten Patientengruppen. In der Analyse großer klinischer Register (> 2500 Patienten) war die Blutdrucksenkung unabhängig vom Alter, vom Vorliegen von Diabetes, resistenter Hypertonie, Vorhofflimmern, isolierter systolischer Hypertonie und hohem kardiovaskulären Risiko [7] und ebenso von der Anzahl und von der Klasse der verwendeten Antihypertensiva vor dem Eingriff [8]. Weiters konnte die Anzahl der Antihypertensiva nach dem Eingriff häufig verringert werden.

Die Frage, ob es langfristig zu einer klinisch bedeutsamen sympathischen Reinnervation kommt und wann das geschieht, ist derzeit nicht endgültig beantwortet. In den Sham-kontrollierten Studien der 2. Generation betrug die Nachbeobachtungszeit bis zu 3 Jahre, ohne dass eine Abnahme der Blutdrucksenkung zu beobachten war [9]. Register-basierte Daten zeigen sogar einen blutdrucksenkenden Effekt von RDN nach 9 bzw. 10 Jahren [10, 11].

Ein günstiger Effekt der RDN ist die Tatsache, dass es in der Sham-kontrollierten SPYRAL-OFF Med-Studie in der RDN-Gruppe zu einer deutlichen Reduktion hypertensiver Krisen („hypertensive urgencies") kam [12], was eine Entlastung sowohl der Patienten als auch des Gesundheitssystems bedeutet.

Bei gegebener Wirkdauer und Sicherheit der RDN (s. u.) konnte die Intervention in den rezenten ESH-Guidelines zum Management der Hypertonie [13] für selektierte Indikationen für den Einsatz in der klinischen Routine empfohlen werden (s. u.).

Methoden der renalen Denervierung

Das erste verfügbare Device beruhte auf einer Radiofrequenz-basierten (RF-) Denervierung. Während das erste System (Symplicity®, Medtronic, Minneapolis, MI) eine 1-Punkt-Ablation mittels steuerbarem Katheter darstellte [2], was zeitaufwendiger war und nur Ablationen im Stamm der Nierenarterien ermöglichte, ist mit dem zweiten System (Spyral®)

Tabelle 1: Ausgewählte RDN-Studien der 2. Generation (Sham-kontrolliert) bei Hypertonie.

Studie	N (RDN/ Sham)	Mittl. Alter (RDN/Sham)	24-Stunden-Blutdruck (RDN/ Sham) mmHg	Anzahl Antihypertensiva (RDN vs. Sham)	Primärer Endpunkt	Ergebnis
Radiofrequenz-basierte renale Denervierung						
SPYRAL HTN-OFF MED Pilot (2017) [14]	38/42	55,8/52,8	153/99 / 152/99	0/0	24hSBP 3 Monate	–5,5 vs. –0,5 mmHg p = 0,041
SPYRAL HTN-ON MED Proof of Concept (2018) [15]	38/42	53,9/53,0	165/100 / 164/103	3/3	24hSBP 6 Monate	–9 vs. –1,6 mmHg p = 0,005
SPYRAL HTN-OFF MED Pivotal (2020) [16]	166/165	52,4/52,6	151/98 / 151/99	0/0	24hSBP 3 Monate	–4,7 vs. –0,6 mmHg p = 0,0005
SPYRAL HTN-ON MED (2022) [9]	30/32	53,9/53,0	152/97 / 151/98	2,1/2,0	24hSBP 36 Monate	–18,7 vs. –8,6 mmHg p = 0,0039
SPYRAL HTN-ON MED pivotal long term (2023) [17]	20/18	55,1/51,0	152/97 / 152/99	> 3 > 3	NachtSBP 36 Monate	–20,8 vs. –7,2 mmHg p = 0,001
SPYRAL HTN-ON MED pilot + expansion study (2023) [18]	192/116	55,2/5,6	150/97 / 149/96	1,9/1,9	24hSBP 6 Monate	–6,5 vs. –4,5 mmHg p = 0,1*
Ultraschall-basierte renale Denervierung						
RADIANCE-HTN SOLO (2018) [19]	74/72	54,4/53,8	143/87 / 144/89	0/0	TagSBP 2 Monate	–8,5 vs. –2,2 mmHg p = 0,0001
RADIANCE-HTN TRIO (2020) [20]	69/67	52,3/52,8	144/89 / 145/90	4,0/3,9	TagSBP 2 Monate	–8,0 vs. –3,0 mmHg p = 0,022
REQUIRE (2021) [21]	69/67	50,7/55,6	162/95 / 162/93	4,1/3,9	24hSBP 3 Monate	–6,6 vs. –6,5 mmHg p = 0,971
RADIANCE II (2023) [22]	150/74	55,1/54,9	143/88 / 145/88	0/0	TagSBP 2 Monate	–7,9 vs. –1,8 mmHg p < 0,001
Alkohol-basierte renale Denervierung						
TARGET BP OFF MED (2023) [23]	50/56	53,8/54,4	148/92 / 149/91	0/0	24hSBP 2 Monate	–2,9 vs. –1,4 mmHg p = 0,27
TARGET BP I (2024) [24]	148/153	56,7/55,6	146/87 / 146/88	2–5/2–5	24hSBP 3 Monate	–10,0 vs. –6,8 mmHg p = 0,049

SBP: systolic blood pressure. *Unterschiede im Gebrauch von antihypertensiven Medikamenten favorisierten RDN (win ratio 1,5; p = 0,005)

eine simultane 4-Quadranten-Ablation im Stamm und in größeren Ästen der Nierenarterien möglich [14]. Dies ist für eine effektive RDN mit diesem System auch erforderlich [25], wobei rezente Daten eine gewisse Vereinfachung des Eingriffs (Denervierung nur im distalen Nierenarterien-Stamm und in Ästen erster Ordnung) möglich scheinen lassen [26].

Eine andere gut untersuchte Möglichkeit ist die Ablation mittels therapeutischen Ultraschalls (US) [19]. Das Paradise™-System (Recor Medical Inc, Palo Alto, CA) ermöglicht eine 360°-Ablation des perivaskulären Gewebes mittels eines perfundierten US-Ballons und wird im Nierenarterien-Stamm eingesetzt.

Eine weitere Möglichkeit der RDN ist die perivaskuläre Alkoholinjektion (Peregrine® System, Ablative Solutions, Wakefield, MA) im Stamm der Nierenarterien [24].

Zahlreiche weitere RDN-Methoden wurden untersucht, unter anderem ein externes Ultraschallgerät, das jedoch keine Blutdrucksenkung bewirkte [27].

Sicherheitsprofil der RDN

RDN ist eine invasive, präventive Methode zur Blutdrucksenkung. Das kardiovaskuläre Risikoprofil wird verbessert, allerdings gibt es keine „echte" Outcome-Studie, die eine Reduktion kardiovaskulärer Endpunkte beweisen könnte. Weiters sind zahlreiche nichtmedikamentöse und medikamentöse Möglichkeiten zur Blutdrucksenkung etabliert [13]. Daraus ergibt sich die Anforderung eines niedrigen peri- und postinterventionellen Risikos an die Methode.

Tatsächlich gibt es Sicherheitsdaten zur RDN aus zahlreichen randomisierten Studien [5, 9, 14–16, 19–22, 27–32] und Langzeit-Registern [4, 33], die belegen, dass RDN – von erfahrenen Operateuren durchgeführt – eine sehr sichere Intervention darstellt. Die häufigsten Komplikationen, die in etwa 1 % der Eingriffe auftreten, sind mit dem arteriellen Zugang verbunden und können eventuell durch Ultraschall-gezielte Punktion und/oder Verschluss-Devices verringert werden. Schwere vaskuläre Komplikationen (Dissektionen, Perforationen etc.) sind theoretisch vorstellbar, aber offenbar außerordentlich selten. In einer Meta-Analyse von 50 Studien und 5769 Patienten, die mit RDN behandelt wurden, wurden 7 intraprozedurale Dissektionen, die eine Stentimplantation erforderten, berichtet [34]. Die initial befürchtete Langzeit-Komplikation einer Nierenarterienstenose tritt nur selten auf [34], möglicherweise nicht häufiger, als im Spontanverlauf bei schwerer Hypertonie zu erwarten wäre [35]. Akute Nierenschäden durch RDN sollten sich durch adäquate Hydrierung vermeiden lassen, eine langfristige Verschlechterung der Nierenfunktion nach RDN konnte in einer Meta-Analyse nicht gesehen werden [36].

Prädiktoren der Blutdrucksenkung durch RDN

Aus dem klinischen Alltag ist gut bekannt, dass eine medikamentöse antihypertensive Monotherapie nur bei einem Teil der Patienten zu einer Blutdrucksenkung führt [37] (was ja aus der Pathophysiologie der primären Hypertonie zu erwarten ist, und sich in der Guideline-Empfehlung einer primären medikamentösen Kombinationstherapie widerspiegelt [13]). Der blutdrucksenkende Effekt einer RDN ist bei individuellen Patienten ebenso heterogen. Das Thema wird intensiv untersucht, potentielle Prädiktoren sind die Herzfrequenz [38], pulsatile Hämodynamik/Gefäßsteifigkeit [39], Renin [40], und viele andere, die alle für den klinischen Alltag (noch) zu geringe Trennschärfen aufweisen.

Einsatzgebiete der RDN zur Blutdrucksenkung in der klinischen Routine

In den im Vorjahr erschienenen ESH-Guidelines zum Management der arterillen Hypertonie [13] wird eine Klasse-II-Empfehlung für den klinischen Einsatz der RDN bei folgenden Patienten abgegeben:

- unkontrollierter Blutdruck trotz Einnahme einer medikamentösen Kombinationstherapie,
- unkontrollierter Blutdruck, wenn antihypertensive Medikamente schwere Nebenwirkungen aufweisen oder mit einer schlechten Lebensqualität einhergehen,
- als Zusatztherapie bei echter resistenter Hypertonie (Office-Blutdruck > 140/90 mmHg, 24-Stunden-Blutdruck > 130/80 mmHg trotz adäquater 3-fach-Kombination, guter Adhärenz und Ausschluss sekundärer Hypertonie).

RDN soll nur von erfahrenen Interventionisten durchgeführt werden. Die Abklärung und Behandlung der Patienten vor RDN soll in spezialisierten Hypertonie-Zentren erfolgen, um eine adäquate Selektion der Patienten zu garantieren. Vor der Intervention ist unbedingt eine umfassende Aufklärung der Patienten über den möglichen Benefit und mögliche Risiken der RDN erforderlich.

Ähnliche Empfehlungen wurden in einem Konsensus-Dokument des ESC Council on Hypertension und der European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) 2023 abgegeben [35].

Aufgrund der günstigen Ergebnisse der neueren Studien mit RF- und US-basierter RDN hat die FDA ein sogenanntes „premarket approval" für die RF- und US-basierten Devices erlassen. In Österreich wird die RDN mit diesen beiden Systemen vorläufig als „NUB" (Neue Untersuchungs- und Behandlungsmethode) erstattet. Die Daten der Alkohol-basierten RDN sind (derzeit?) noch nicht konsistent [23, 24], weshalb es (noch?) keine Empfehlung dafür gibt.

Voraussetzungen für RDN

RDN soll laut den Empfehlungen der Fachgesellschaften (s. o.) – eingebettet in einem Hypertonie-Programm – in einem Zentrum mit dokumentierter Expertise für Hypertonie durchgeführt werden. Dies kann in Österreich durch entsprechende Diplome (Hochdruckspezialist Österreichische Gesellschaft für Hypertensiologie; European Hypertension Specialist ESH; Excellence Centre ESH) nachgewiesen werden. Damit soll sichergestellt werden, dass RDN nur bei Vorliegen folgender Situationen angeboten wird:

- adäquate Hypertonieabklärung (24-Stunden-Blutdruckmessung; Ausschluss sekundäre Hypertonie),
- adäquate Hypertoniebehandlung (in Übereinstimmung mit den Guidelines),
- adäquate Einbeziehung des gut aufgeklärten Patienten

- adäquate präinterventionelle Abklärung (geeignete Anatomie der Nierenarterien: Ausschluss von Kontraindikationen wie fibromuskuläre Dysplasie, Nierenarterienstenose etc.),
- adäquate Durchführung der Intervention,
- adäquates Management etwaiger Komplikationen,
- adäquate Nachbetreuung nach dem Eingriff (3, 6, 12 Monate nach dem Eingriff).

Weiters wird empfohlen, die Ergebnisse der RDN in einem nationalen Register zu dokumentieren.

Kontraindikationen für RDN

- Alter < 18 Jahre oder > 85 Jahre
- Schwangerschaft, Stillperiode
- ungeeignete Anatomie der Nierenarterie (Durchmesser je System; Stenose bzw. ausgeprägte Atherosklerose; fibromuskuläre Dysplasie; frühere Stentimplantation; akzessorische Nierenarterien, die einer RDN nicht zugänglich sind)
- anatomische oder funktionelle Einnierigkeit
- früherer Nierentransplantation
- glomeruläre Filtrationsrate < 40 ml/min/1,73m²
- sekundäre Hypertonie
- Dialysepatienten
- instabile klinische Situation (akutes Koronarsyndrom, akutes zerebrovaskuläres Ereignis etc.)

Interessenkonflikt

TW erhielt Honorare für Vorträge und Advisory Boards von Medtronic und Recor.

Literatur:

1. Smithwick RH. Surgical treatment of hypertension: The effect of radical (lumbodorsal) splanchnicectomy on the hypertensive state of one hundred and fifty-six patients followed one to five years. Arch Surg 1944; 49: 180–93.

2. Krum H, Schlaich M, Whitbourn R, Sobotka PA, Sadowski J, et al. Catheter-based renal sympathetic denervation for resistant hypertension: A multicentre safety and proof-of-principle cohort study. Lancet 2009; 373: 1275–281.

3. Esler MD, Krum H, Sobotka PA, Schlaich MP, Schmieder RE, Bohm M. Renal sympathetic denervation in patients with treatment-resistant hypertension (the Symplicity HTN-2 trial): A randomised controlled trial. Lancet 2010; 376: 1903–9.

4. Zweiker D, Lambert T, Steinwender C, Weber T, Suppan M, et al. Effects of renal denervation documented in the austrian national multicentre renal denervation registry. PloS One 2016; 11: e0161250.

5. Bhatt DL, Kandzari DE, O'Neill WW, D'Agostino R, Flack JM, et al. A controlled trial of renal denervation for resistant hypertension. N Engl J Med 2014; 370: 1393–401.

6. Williams B, Mancia G, Spiering W, Agabiti Rosei E, Azizi M, et al. 2018 ESC/ESH guidelines for the management of arterial hypertension: The task force for the management of arterial hypertension of the european society of cardiology and the european society of hypertension: The task force for the management of arterial hypertension of the european society of cardiology and the european society of hypertension. J Hypertens 2018; 36: 1953–2041

7. Mahfoud F, Mancia G, Schmieder R, Narkiewicz K, Ruilope L, et al. Renal denervation in high-risk patients with hypertension. J Am Coll Cardiol 2020; 75: 2879–88.

8. Mahfoud F, Mancia G, Schmieder RE, Ruilope L, Narkiewicz K, et al. Outcomes following radiofrequency renal denervation according to antihypertensive medications: Subgroup analysis of the global symplicity registry define. Hypertension 2023; 80: 1759–70.

9. Mahfoud F, Kandzari DE, Kario K, Townsend RR, Weber MA, et al. Long-term efficacy and safety of renal denervation in the presence of antihypertensive drugs (SPYRAL HTN-ON MED): A randomised, sham-controlled trial. Lancet 2022; 399: 1401–10.

10. Sesa-Ashton G, Nolde JM, Muente I, Carnagarin R, Lee R, et al. Catheter-based renal denervation: 9-year follow-up data on safety and blood pressure reduction in patients with resistant hypertension. Hypertension 2023; 80: 811–9.

11. Al Ghorani H, Kulenthiran S, Recktenwald MJM, Lauder L, Kunz M, et al. 10-year outcomes of catheter-based renal denervation in patients with resistant hypertension. J Am Coll Cardiol 2023; 81: 517–9.

12. Weber MA, Schmieder RE, Kandzari DE, Townsend RR, Mahfoud F, et al. Hypertension urgencies in the SPYRAL HTN-OFF MED pivotal trial. Clin Res Cardiol 2022; 111: 1269–75.

13. Mancia Chairperson G, Kreutz Co-Chair R, Brunstrom M, Burnier M, Grassi G, et al; Authors/Task Force M. 2023 ESH guidelines for the management of arterial hypertension the task force for the management of arterial hypertension of the european society of hypertension endorsed by the european renal association (ERA) and the international society of hypertension (ISH). J Hypertens 2023; 41: 1874–2071.

14. Townsend RR, Mahfoud F, Kandzari DE, Kario K, Pocock S, et al; Investigators SH-OMt. 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. Lancet. 2017; 390: 2160–70.

15. Kandzari DE, Bohm M, Mahfoud F, Townsend RR, Weber MA, 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. Lancet 2018; 391: 2346–55.

16. Böhm M, Kario K, Kandzari DE, Mahfoud F, Weber MA, et al. Efficacy of catheter-based renal denervation in the absence of antihypertensive medications (SPYRAL HTN-OFF MED pivotal): A multicentre, randomised, sham-controlled trial. Lancet 2020; 395: 1444–51.

17. Kario K, Mahfoud F, Kandzari DE, Townsend RR, Weber MA, et al. Long-term reduction in morning and nighttime blood pressure after renal denervation: 36-month results from SPYRAL HTN-ON MED trial. Hypertens Res 2023; 46: 280–8.

18. Kandzari DE, Townsend RR, Kario K, Mahfoud F, Weber MA, et al; Investigators SH-OM. Safety and efficacy of renal denervation in patients taking antihypertensive medications. J Am Coll Cardiol 2023; 82: 1809–23.

19. Azizi M, Schmieder RE, Mahfoud F, Weber MA, Daemen J, et al. Endovascular ultrasound renal denervation to treat hypertension (RADIANCE-HTN SOLO): A multicentre, international, single-blind, randomised, sham-controlled trial. Lancet 2018; 391: 2335–45.

20. Azizi M, Sanghvi K, Saxena M, Gosse P, Reilly JP, et al. Ultrasound renal denervation for hypertension resistant to a triple medication pill (RADIANCE-HTN TRIO): A randomised, multicentre, single-blind, sham-controlled trial. Lancet 2021; 397: 2476–86.

21. Kario K, Yokoi Y, Okamura K, Fujihara M, Ogoyama Y, et al. Catheter-based ultrasound renal denervation in patients with resistant hypertension: The randomized, controlled REQUIRE trial. Hypertens Res 2022; 45: 221–31.

22. Azizi M, Saxena M, Wang Y, Jenkins JS, Devireddy C, et al. Endovascular ultrasound renal denervation to treat hypertension: The RADIANCE II randomized clinical trial. JAMA 2023; 329: 651–61.

23. Kandzari DE, Weber MA, Pathak A, Zidar JP, Saxena M, et al. Effect of alcohol-mediated renal denervation on blood pressure in the presence of antihypertensive medications: Primary results from the TARGET BP I randomized clinical trial. Circulation 2024; 149: 1875–84.

24. Pathak A, Rudolph UM, Saxena M, Zeller T, Muller-Ehmsen J, et al. Alcohol-mediated renal denervation in patients with hypertension in the absence of antihypertensive medications. EuroIntervention 2023; 19: 602–11.

25. Mahfoud F, Tunev S, Ewen S, Cremers B, Ruwart J, et al. Impact of lesion placement on efficacy and safety of catheter-based radiofrequency renal denervation. J Am Coll Cardiol 2015; 66: 1766–75.

26. Sharp ASP, Kandzari DE, Townsend RR, Kario K, Mahfoud F, et al. A novel, proof-of-concept radiofrequency renal denervation strategy to improve procedural efficiency: 12-month results from the SPYRAL DYSTAL pilot study. Cardiovasc Revasc Med 2024; Online ahead of print.

27. Schmieder RE, Ott C, Toennes SW, Bramlage P, Gertner M, et al. Phase II randomized sham-controlled study of renal denervation for individuals with uncontrolled hypertension – wave IV. J Hypertens 2018; 36: 680–9.

28. Symplicity HTNI, Esler MD, Krum H, Sobotka PA, Schlaich MP, et al. Renal sympathetic denervation in patients with treatment-resistant hypertension (the SYMPLICITY HTN-2 trial): A randomised controlled trial. Lancet 2010; 376: 1903–9.

29. Azizi M, Sapoval M, Gosse P, Monge M, Bobrie G, et al. Optimum and stepped care standardised antihypertensive treatment with or without renal denervation for resistant hypertension (DENERHTN): A multicentre, open-label, randomised controlled trial. Lancet 2015; 385: 1957–65.

30. Desch S, Okon T, Heinemann D, Kulle K, Rohnert K, et al. Randomized sham-controlled trial of renal sympathetic denervation in mild resistant hypertension. Hypertension 2015; 65: 1202–8.

31. Mathiassen ON, Vase H, Bech JN, Christensen KL, Buus NH, et al. Renal denervation in treatment-resistant essential hypertension. A randomized, sham-controlled, double-blinded 24-h blood pressure-based trial. J Hypertens 2016; 34: 1639–47

32. Weber MA, Kirtane AJ, Weir MR, Radhakrishnan J, Das T, et al. The REDUCE HTN: REINFORCE: Randomized, sham-controlled trial of bipolar radiofrequency renal denervation for the treatment of hypertension. JACC Cardiovasc Interv 2020; 13: 461–70.

33. Mahfoud F, Bohm M, Schmieder R, Narkiewicz K, Ewen S, et al. Effects of renal denervation on kidney function and long-term outcomes: 3-year follow-up from the Global SYMPLICITY Registry. Eur Heart J 2019; 40: 3474–82.

34. Townsend RR, Walton A, Hettrick DA, Hickey GL, Weil J, et al. Review and meta-analysis of renal artery damage following percutaneous renal denervation with radiofrequency renal artery ablation. EuroIntervention 2020; 16: 89–96.

35. Barbato E, Azizi M, Schmieder RE, Lauder L, Bohm M, et al. Renal denervation in the management of hypertension in adults. A clinical consensus statement of the ESC council on hypertension and the european association of percutaneous cardiovascular interventions (EAPCI). Eur Heart J 2023; 44: 1313–30.

36. Sanders MF, Reitsma JB, Morpey M, Gremmels H, Bots ML, et al. Renal safety of catheter-based renal denervation: Systematic review and meta-analysis. Nephrol Dial Transplant 2017; 32: 1440–7.

37. Sundstrom J, Lind L, Nowrouzi S, Hagstrom E, Held C, et al. Heterogeneity in blood pressure response to 4 antihypertensive drugs: A randomized clinical trial. JAMA 2023; 329: 1160–9.

38. Bohm M, Mahfoud F, Townsend RR, Kandzari DE, Pocock S, et al. Ambulatory heart rate reduction after catheter-based renal denervation in hypertensive patients not receiving anti-hypertensive medications: Data from SPYRAL HTN-OFF MED, a randomized, sham-controlled, proof-of-concept trial. Eur Heart J 2019; 40: 743–51.

39. Weber T, Wassertheurer S, Mayer CC, Hametner B, Danninger K, et al. Twenty-four-hour pulsatile hemodynamics predict brachial blood pressure response to renal denervation in the SPYRAL HTN-OFF MED trial. Hypertension 2022; 79: 1506–14.

40. Mahfoud F, Townsend RR, Kandzari DE, Kario K, Schmieder RE, et al. Changes in plasma renin activity after renal artery sympathetic denervation. J Am Coll Cardiol 2021; 77: 2909–19.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

☑ **Medizintechnik-Produkte**

Neues CRT-D Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik

Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH

Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH

InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☑ **Bestellung e-Journal-Abo**

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

Impressum **Disclaimers & Copyright** **Datenschutzerklärung**