




Ultrasound assessment of brain supplying arteries (extracranial)



Authors

Klaus Gröschel¹ , Judith U. Harrer^{2, 3} , Ulf Schminke⁴ ,
Emilia Stegemann^{5, 6} , Jens Allendorfer⁷ 

Affiliations

- 1 Department of Neurology University Medical Center of the Johannes Gutenberg University Mainz, Mainz, Germany
- 2 Neurology, Privat Praxis Villa Pfahler, St. Ingbert, Germany
- 3 Neurology, RWTH University Hospital, Aachen, Germany
- 4 Neurology, University Medicine, Greifswald, Germany
- 5 Clinic for Cardiology and Angiology, University Hospital Giessen-Marburg, Marburg, Germany
- 6 Clinic for Internal Medicine, Diabetology and Angiology, Agaplesion Diakonie Clinics, Kassel, Germany
- 7 Neurology, Asklepios Neurologic Clinic Bad Salzhausen, Nidda, Germany

Bibliography

Ultraschall in Med 2024; 45: 14–35
published online November 14, 2023
DOI 10.1055/a-2158-9629
ISSN 0172-4614
© 2023, Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

ABSTRACT

Ultrasonography of the brain-supplying arteries is a non-invasive and highly efficient technique for the assessment of a stenosis or a vessel occlusion in patients with cerebrovascular diseases. This article reviews the examination technique for a standardized ultrasound assessment of the extracranial carotid and vertebral arteries. It further describes the multiparametric grading criteria of internal carotid artery stenosis and it gives recommendations for a standardised documentation of findings. Additionally, it proposes recommendations for intima-media thickness measurement and for classifying atherosclerotic plaques with B-mode ultrasonography. Moreover, criteria for the diagnosis of in-stent stenoses, vertebral artery dissections and subclavian steal syndrome are provided.

Preamble

Ultrasound examination of the arteries supplying the brain is a non-invasive and efficient examination method. This allows neurovascular diseases to be reliably diagnosed and followed up during their course. This article explains the structured examination procedure of the extracranial arteries and typical pathological case constellations in routine clinical application. The examination of intracranial vessels is presented separately elsewhere [1].

Introduction

The use of duplex ultrasound has increased significantly compared to Doppler sonography after previous technical development and cost reduction of the equipment. This examination method is primarily used in clinical routine and outpatient diagnostics and is the focus of this review. However, Doppler sonography continues to have value because the smaller Doppler pencil probe can be better positioned compared with the linear array trans-

ducer, and this is referred to separately in the text. In order to counteract the limitation of examiner dependence, minimum requirements for the quality and documentation of examinations are of great importance and are regularly published by the professional associations [2]. For the basics of examination techniques, please refer to the current literature [3, 4].

Documentation

For quality assurance reasons, the findings should be comprehensible on the basis of the image and curve documentation alone; clearly identifiable anatomical guide structures and/or unambiguous labeling help here. In a non-pathological case, so-called “basic documentation” is sufficient, usually image documentation in one plane (► **Table 1**). If there are pathological changes or findings contributing to the diagnosis, these must also be documented; in this case, it is useful to present them in a second plane. In Doppler sonography, the frequency-time spectrum is documented, specifying the peak systolic

Die Ultraschalluntersuchung der hirnversorgenden Arterien (extrakraniell)



Autorinnen/Autoren

Klaus Gröschel¹, Judith U. Harrer^{2, 3}, Ulf Schminke⁴,
Emilia Stegemann^{5, 6}, Jens Allendorfer⁷

Institute

- 1 Department of Neurology University Medical Center of the Johannes Gutenberg University Mainz, Mainz, Germany
- 2 Neurology, Privat Praxis Villa Pfahler, St. Ingbert, Germany
- 3 Neurology, RWTH University Hospital, Aachen, Germany
- 4 Neurology, University Medicine, Greifswald, Germany
- 5 Clinic for Cardiology and Angiology, University Hospital Giessen-Marburg, Marburg, Germany
- 6 Clinic for Internal Medicine, Diabetology and Angiology, Agaplesion Diakonie Clinics, Kassel, Germany
- 7 Neurology, Asklepios Neurologic Clinic Bad Salzhausen, Nidda, Germany

Bibliografie

Ultraschall in Med 2024; 45: 14–35
published online November 14, 2023
DOI 10.1055/a-2158-9629
ISSN 0172-4614
© 2023. Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

ZUSAMMENFASSUNG

Die Sonografie der hirnversorgenden Arterien ist eine nicht invasive und hoch effiziente Technik für die Beurteilung von Stenosen oder eines Gefäßverschlusses bei Patienten mit zerebrovaskulären Erkrankungen. Dieser Artikel fasst die Untersuchungstechnik für eine standardisierte Ultraschallbeurteilung der extrakraniellen Karotis und der A. vertebralis zusammen. Darüber hinaus werden die multiparametrischen Graduierungs-Kriterien für die Karotisstenosen (A. carotis interna) beschrieben und Empfehlungen für eine standardisierte Dokumentation der Befunde gegeben. Zudem werden Empfehlungen für die Messung der Intima-Media-Dicke und für die Klassifizierung atherosklerotischer Plaques mit B-Mode-Ultraschall genannt. Außerdem werden Kriterien für die Diagnostik von In-Stent-Stenosen, Vertebraldissektionen und des Subclavian-Steal-Syndroms angegeben.

Vorspann

Die Ultraschalluntersuchung der hirnversorgenden Arterien ist eine nicht invasive und effiziente Untersuchungsmethode. Hiermit können neurovaskuläre Erkrankungen verlässlich diagnostiziert und im Verlauf nachverfolgt werden. Im vorliegenden Beitrag werden der strukturierte Untersuchungsgang der extrakraniellen Arterien und typische pathologische Fallkonstellationen in der klinischen Routineanwendung erläutert. Die Untersuchung der intrakraniellen Gefäße wird an anderer Stelle gesondert dargestellt [1].

Einleitung

Der Einsatz der Duplexsonografie hat nach einer vorangegangenen technischen Weiterentwicklung und Kostenreduktion der Geräte deutlich im Vergleich zur Dopplersonografie zugenommen. Diese Untersuchungsmethode kommt in der klinischen Routine und in der ambulanten Diagnostik vornehmlich zum Einsatz und bildet den

Schwerpunkt dieser Übersicht. Die Dopplersonografie hat aber weiterhin einen Stellenwert, da die kleinere Doppler-Stiftsonde im Vergleich zum Linearschallkopf besser positioniert werden kann – im Text wird hierauf gesondert hingewiesen. Um der Einschränkung der Untersucherabhängigkeit zu begegnen, sind Mindestanforderungen an die Qualität und Dokumentation der Untersuchungen von großer Wichtigkeit, die von den Fachgesellschaften regelmäßig publiziert werden [2]. Für die Grundlagen der Untersuchungstechniken wird auf die gängige Literatur hingewiesen [3, 4].

Dokumentation

Aus Gründen der Qualitätssicherung sollte der Befund allein anhand der Bild- und Kurvendokumentation nachvollziehbar sein, klar identifizierbare anatomische Leitstrukturen und/oder eine eindeutige Beschriftung helfen hierbei. In einem nicht pathologischen Fall reicht eine sog. „Basisdokumentation“, meistens eine Bilddokumentation in einer Ebene (► **Tab. 1**). Bei pathologischen Ver-

(PSV) and maximum end-diastolic frequency (EDV), ideally stating the “mean” value (intensity weighted mean of the Doppler frequencies). In color-coded duplex ultrasonography, it is useful to display the vessel by means of color coding together with the anatomical guide structure and, at the same time, depict a Doppler spectrum derived from this as well. The current examination and performance criteria of the European Society of Neurosonology and Cerebral Hemodynamics (ESNCH) for the “International Certification in Neurosonology” provide assistance for a structured examination procedure [5].

Note

Vessels should be imaged in the longitudinal section over the entire width of the image if possible, and the angle correction used should also be displayed on the image.

Examination course of the extracranial anterior circulation

Starting with a linear array transducer (5–10 MHz, imaging depth 3–4 cm), the common carotid artery (CCA) is imaged in the axial section from caudal to cranial up to the bifurcation with the branches of the internal carotid artery (ICA) and external carotid artery (ECA) in an examination procedure that is as standardized as possible. In addition, longitudinal section imaging is performed in both B-scan and duplex modes (► Fig. 1). Intima-media thickness (IMT) can be determined in a plaque-free straight arterial segment approximately 2 cm proximal to the bulb in the CCA on the posterior vessel wall if no plaque is otherwise visualized [6, 7]. The bulbar region is a predisposition site for the formation of plaque, which should be visualized in B-scan mode in both longitudinal and cross-sectional views, although in longitudinal views the transducer often needs to be tilted in both directions to allow eccentric plaque to be visualized (► Fig. 1). A semiquantitative classification according to Gray-Weale [8], which describes echogenicity (hypo- vs. hyperechogenic), internal structure (homo- vs. inhomogeneous), and surface (smooth vs. ulcerated) as well as calcifications (characterized by an acoustic shadow), is suitable for orientating the morphology of the plaques.

Caution

It should be noted that in the bulbar region retrograde flow components can often be derived in duplex mode, which are due to helical jet flow and should not be considered pathologic.

If the cranial part of the ultrasound probe is turned dorsally in the bulbar region, the proximal part of the ICA is visualized; as a vessel connected to the intracranial supply with a typically “soft” flow profile (high diastole; flow profile supplying organs or the brain) (► Fig. 1). The ICA

must be displayed as distally as possible in order to also be able to assess poststenotic flow changes. In the maxillary angle region, transverse tilting of the linear probe may be helpful, as well as adjusting the color window tilt to reduce the standoff distance, switching to a curved or sector transducer, or using a Doppler pencil probe to achieve an effective distal assessment of the hemodynamic situation.

Caution

Calcified plaques with partial acoustic shadowing may make it impossible to obtain a valid angle-corrected flow measurement.

A ventral rotation in the bifurcation region brings the ECA into focus, here with a typical, highly pulsatile flow profile compared to the ICA. A rhythmic pressure movement on the superficial temporal artery (“modulation”) has proven to be effective for the clear identification of the vessel; the continued undulations can be traced into the ECA; the documentation of these artificially produced artifacts allows this vessel to be reliably identified (► Fig. 1).

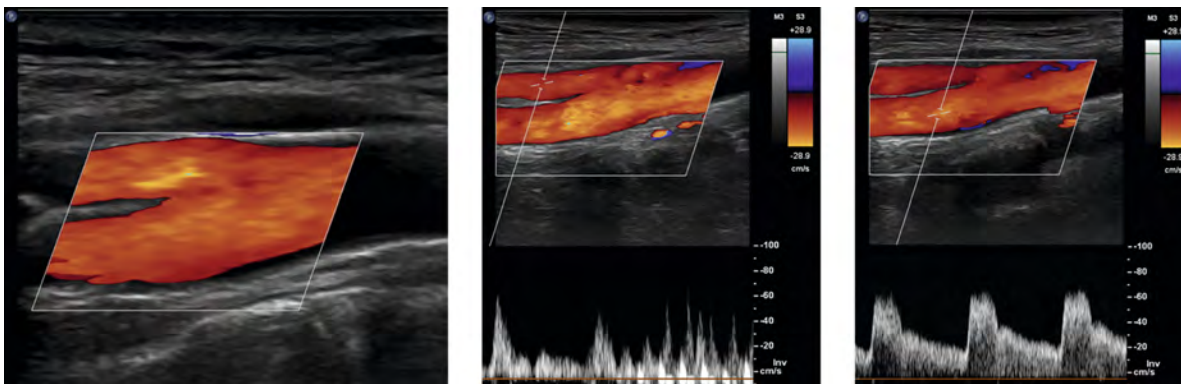
Examination course of the extracranial posterior circulation

To examine the vertebral artery (VA), the CCA is first visualized from ventral and then the transducer is tilted slightly medially (i. e., transducer plane is tilted laterally). In a somewhat deeper region (usually >4 cm), the vertebral artery is now visualized; the acoustic shadowing artifacts of the bony transverse processes of the cervical vertebrae serve as the anatomical guide structure (► Fig. 2, middle). In order to obtain an optimal display, the focus should be adjusted to the corresponding depth and flow velocity (reduction of the pulse repetition frequency and increase of the penetration depth necessary), a now selectable “device preset” is ideal. Alternatively, to identify the vessel, which is sometimes difficult, a setting from the origin of the vertebral artery from the subclavian artery can be attempted (V0 or V1 segment; ► Fig. 2, left), and then the vessel can be followed continuously cranially. The origin of the VA is the predisposition site for stenosis. Due to the frequently waving course, these are sometimes difficult to detect, and respiratory excursions and pulsations of the aortic arch can also complicate visualization. An angle-corrected PSV > 120 cm/s is pathologic, and indirect stenosis criteria, such as flow turbulence or distal pseudo-venous flow profiles with reduced pulsatility, are often helpful. Stenoses of the VA are often very short and can only be visualized punctually; a comparison with the opposite side taking into account any hypoplasia is helpful.

When the V0 / V1 range is set, the subclavian artery, which can be identified by its typical triphasic flow pro-

► **Tab. 1** Empfehlungen zur Basisdokumentation [2].

	Duplexsonografie
A. subclavia	proximaler Abschnitt, mit Dopplerspektrum (triphasisch)
A. carotis communis	Längsschnitt mit Dopplerspektrum
A. carotis interna	Übergang der A. carotis communis in die A. carotis interna mit Dopplerspektrum der A. carotis interna und Dopplerspektrum im distalen Abschnitt
A. carotis externa	Übergang der A. carotis communis in die A. carotis externa mit Dopplerspektrum der A. carotis externa (Dokumentation von Undulationen).
A. vertebralis	Verlauf (V2-Abschnitt) mit Dopplerspektrum und Durchmesserbestimmung



► **Fig. 1** Color-coded duplex imaging of carotid artery bifurcation. Bifurcation of the carotid artery in the coronal scan (left panel) with derivation of the Doppler flow profile of the ECA (middle panel; with protracted undulations for reliable identification) and the ICA (right panel; “soft” flow profile).

► **Abb. 1** Farbduplex-Bildgebung der Karotisbifurkation. Bifurkation der A. carotis im koronaren Schnittbild (links; mit kleinen echoarmen Plaques) mit Ableitung des Strömungsprofils der ACE (Mitte; mit fortgeleiteten Undulationen zur sicheren Identifikation) und der ACl (rechts; „weiches“ Strömungsprofil).

änderungen bzw. zur Diagnose beitragenden Befunden sind diese zusätzlich zu dokumentieren; hier ist eine Darstellung in einer zweiten Ebene sinnvoll. Bei der Duplexsonografie erfolgt die Dokumentation des Frequenz-Zeit-Spektrums mit Angabe der maximalen systolischen (PSV) und end-diastolischen Maximalfrequenz (EDV), idealerweise mit Angabe des „Mean“-Wertes (intensitätsgewichteter Mittelwert der Dopplerfrequenzen). In der farbkodierten Duplexsonografie bietet es sich an, das Gefäß mittels Farbkodierung zusammen mit der anatomischen Leitstruktur darzustellen und gleichzeitig ein hieraus abgeleitetes Dopplerspektrum mit abzubilden. Hilfestellung für einen strukturierten Untersuchungsablauf bieten die aktuellen Prüfungs- und Durchführungskriterien der European Society of Neurosonology and Cerebral Hemodynamics (ESNCH) für die „International Certification in Neurosonology“ [5].

Merke

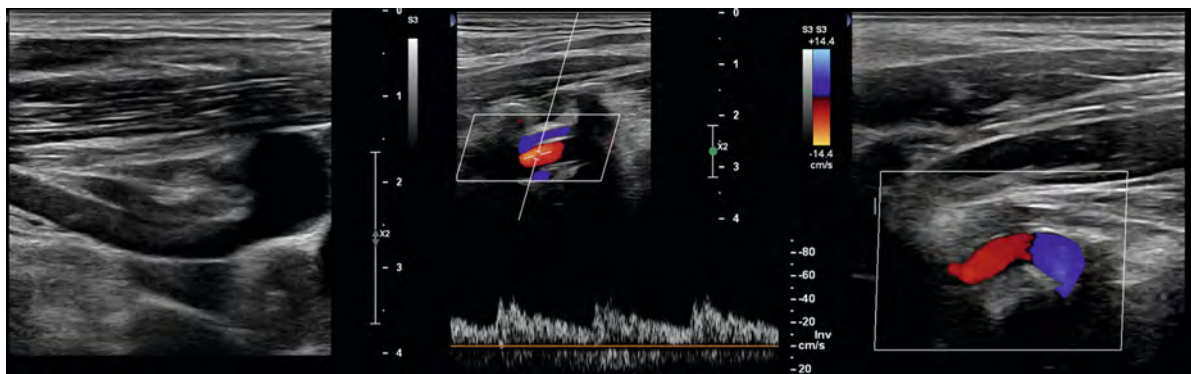
Gefäße sind im Längsschnitt, möglichst über die ganze Breite des Bildes abzubilden, die verwendete Winkelkorrektur sollte mit auf dem Bild angezeigt werden.

Untersuchungsgang der extrakraniellen vorderen Zirkulation

In einem möglichst standardisierten Untersuchungsgang wird, beginnend mit einem Linearschallkopf (5–10 MHz, Darstellungstiefe 3–4 cm), die A. carotis communis (ACC) von kaudal nach kranial bis zur Bifurkation, mit den Abgängen der A. carotis interna (ACI) und A. carotis externa (ACE) im Axialschnitt dargestellt. Zusätzlich erfolgt eine Abbildung im Längsschnitt, sowohl im B-Bild- als auch im Duplex-Modus (► **Abb. 1**). Die Bestimmung der Intima-Media-Dicke (intima-media thickness; IMT) kann in einem plaquefreien, geraden arteriellen Segment ca. 2 cm proximal des Bulbus in der ACC an der posterioren Gefäßwand bestimmt werden, wenn sonst keine Plaque zur Darstellung kommt [6, 7]. Die Bulbusregion ist eine Prädispositionsstelle für die Ausbildung von Plaques, die im B-Bild-Modus, sowohl im Längsschnitt- als auch im Querschnittbild dargestellt werden sollten, wobei im Längsschnitt der Schallkopf häufig in beide Richtungen gekippt werden muss, damit auch eine exzentrische Plaque zur Darstellung kommen kann (► **Abb. 1**). Zur ori-

► **Table 1** Recommendations for basic documentation [2].

	Duplex ultrasound
Subclavian artery	Proximal section, with Doppler spectrum (triphasic)
Common carotid artery	Longitudinal section with Doppler spectrum
Internal carotid artery	Transition of the common carotid artery into the internal carotid artery with Doppler spectrum of the internal carotid artery and Doppler spectrum in the distal section
External carotid artery	Transition of the common carotid artery into the external carotid artery with Doppler spectrum of the external carotid artery (documentation of undulations).
Vertebral artery	Course (V2 section) with Doppler spectrum and diameter determination



► **Fig. 2** Imaging of the vertebral artery. Branch of the vertebral artery from the subclavian artery with V0 / V1 segment (left). Normal flow profile of the VA in the V2 segment (acoustic shadow of the transverse processes of the cervical vertebrae with distal acoustic shadowing as the guiding structure; the vertebral vein is also shown above the VA). Shape of the VA resembles the handle of a cup in the V3 segment (atlas loop; right).

► **Abb. 2** Darstellung der A. vertebralis. Abgang der A. vertebralis aus der A. subclavia mit V0 / V1-Segment (links). Normales Strömungsprofil der AV im V2-Segment (Schallschatten der Transversalfortsätze der Halswirbelkörper mit distaler Schallauslöschung als Leitstruktur; die Vena vertebralis ist über der AV mit abgebildet). „Henkeltassenformation“ der AV im V3-Segment (Atlanschlinge; rechts).

file, is also displayed. Rotation of the transducer into the supraclavicular fossa with the probe directed caudally may be necessary for better visualization. Stenosis of the subclavian artery results in flow acceleration, usually in the proximal segment, and loss of the triphasic profile; higher-grade stenosis results in a steal phenomenon of the ipsilateral VA (subclavian steal syndrome, ► **Fig. 3**).

Segment V2 of the VA usually begins at the level of C6 and can be traced continuously up to the atlas loop (► **Fig. 2**, middle). Variations in the diameter of the VA are regularly detectable (left side often dominant). There is no uniform definition of hypoplasia. In the literature, the most frequently cited absolute lumen diameter is ≤ 2.0 – 2.5 mm in several segments or a diameter ratio compared to the opposite side $> 1:1.7$ [9, 10]. There is often contralateral hyperplasia (lumen diameter ≥ 3.5 mm), low flow velocities in lateral comparison, and increased pulsatility.

In cases of uncertainty or to differentiate from the thyrocervical trunk, relayed rhythmic undulations in the V3 area may be helpful in identifying the vessel. Extracranial visualization of the VA ends with documentation of the V3 segment, the atlas loop (► **Fig. 2**, right). The transducer is placed here below the mastoid, the vertebral artery runs here in an arch and shows a flow towards and away from the probe (“handle of a cup”).

Higher grade proximal subclavian artery stenosis may lead to subclavian steal syndrome of the VA (► **Fig. 3**), initially manifested by systolic deceleration of the flow profile (grade 1). Further advanced, there may be alternating flow (grade 2) or even completely retrograde flow of the VA (grade 3). Mild steal phenomenon can be verified by means of an “upper arm compression test”: here, a blood pressure cuff is inflated to supra-systolic values over one minute, and the air is then rapidly deflated, with continuous insonation of the VA in the V2 segment, resulting in a passive enhancement of steal by reactive hyperemia of the arm. This can be further enhanced by working with

entierenden Bestimmung der Morphologie der Plaques eignet sich eine semiquantitative Einteilung nach Gray-Weale [8], welche die Echogenität (hypo- vs. hyperechogen), die Binnenstruktur (homo- vs. inhomogen), die Oberfläche (glatt vs. ulzeriert) sowie Kalzifikationen (gekennzeichnet durch einen Schallschatten) beschreibt.

Cave

Zu beachten ist im Bulbusbereich, dass sich im Duplex-Modus häufig retrograde Strömungsanteile ableiten lassen, die durch die helixartige Jet-Strömung entstehen und nicht als pathologisch zu werten sind.

Wird im Bulbusbereich der kraniale Teil der Schallsonde nach dorsal gewandt, kommt der proximale Teil der ACI zur Darstellung; als Gefäß mit Anschluss an die intrakranielle Versorgung mit typisch „weichem“ Strömungsprofil (hohe Diastole; organ- bzw. gehirnversorgendes Strömungsprofil; ► **Abb. 1**). Die ACI muss möglichst distal dargestellt werden, um auch poststenotische Strömungsveränderungen beurteilen zu können. Im Bereich des Kieferwinkels kann eine quere Kippung der Linearsonde hilfreich sein, ebenso die Anpassung der Farbfensterkippung zur Reduktion der Vorlaufstrecke, der Wechsel auf einen Curved- bzw. Sektor-Schallkopf, oder die Verwendung einer Doppler-Stiftsonde, um eine effektive distale Einschätzung der hämodynamischen Situation zu erreichen.

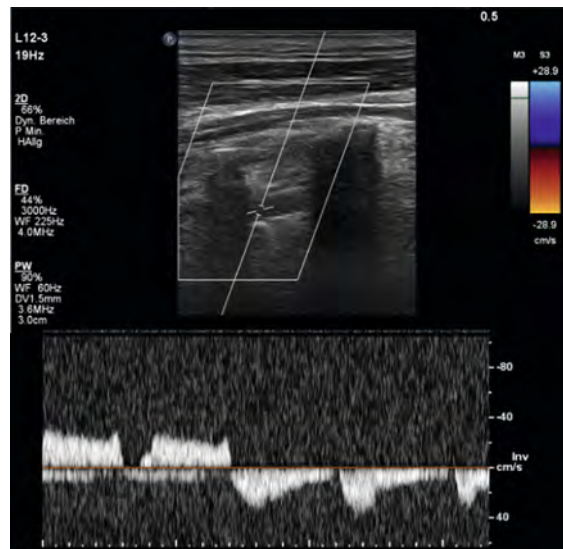
Cave

Kalzifizierte Plaques mit einer teilweisen Schallauslöschung können es unmöglich machen, eine valide winkeltkorrigierte Strömungsmessung zu erhalten.

Eine Drehung im Bifurkationsbereich nach ventral bringt die ACE in den Fokus – hier mit typischem, im Vergleich zur ACI hoch pulsatilen Strömungsprofil. Zur eindeutigen Identifizierung des Gefäßes hat sich eine rhythmische Druckbewegung auf die A. temporalis superficialis bewährt („Modulation“); die fortgeleiteten Undulationen lassen sich bis in die ACE verfolgen. Die Dokumentation dieser künstlich produzierten Artefakte erlaubt die sichere Identifizierung dieses Gefäßes (► **Abb. 1**).

Untersuchungsgang der extrakraniellen hinteren Zirkulation

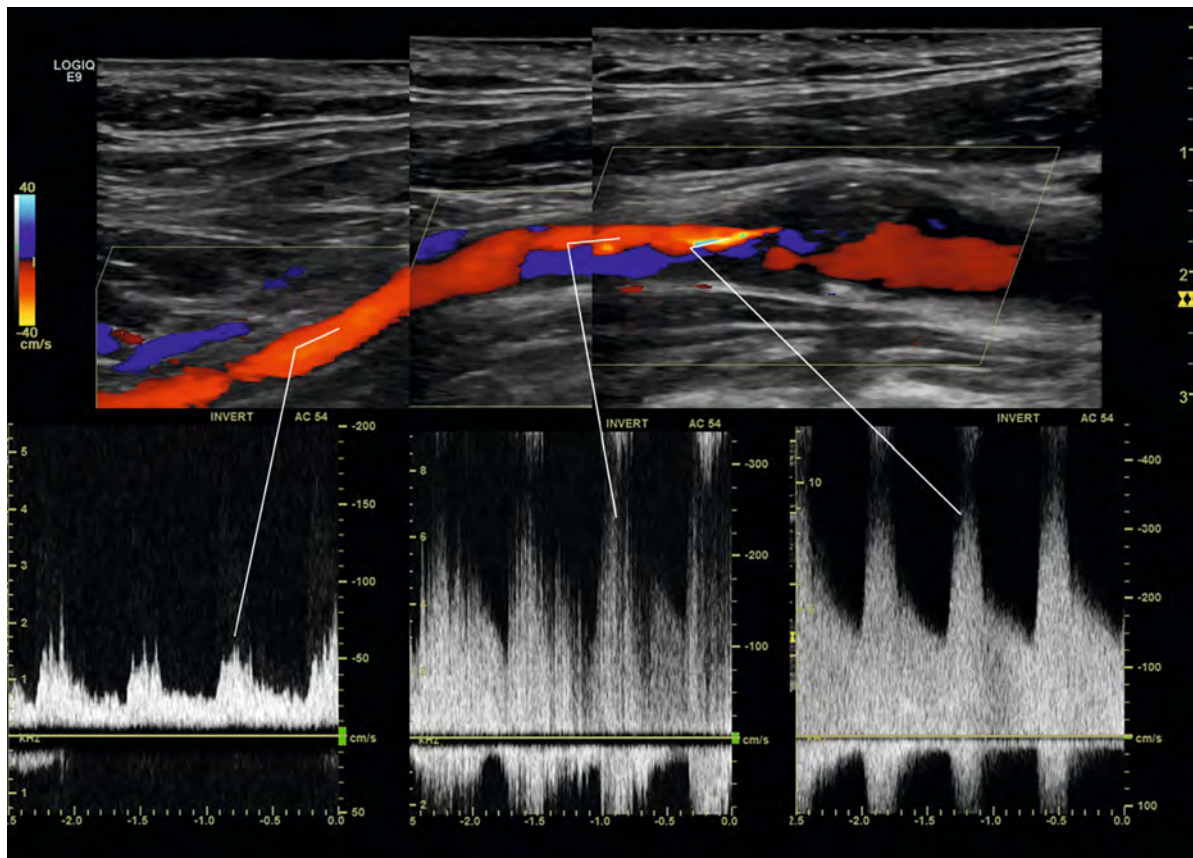
Zur Untersuchung der A. vertebralis (AV) wird zunächst die ACC von ventral dargestellt und dann der Schallkopf leicht nach medial (d. h. die Schallebene nach lateral) gekippt. In einer etwas tieferen Region (meist > 4 cm) kommt nun die AV zur Darstellung – als anatomische Leitstruktur dienen die Schallauslöschungsartefakte der knöchernen Transversalfortsätze der Halswirbelkörper (HWK; ► **Abb. 2**, Mitte). Um eine optimale Darstellung zu erhalten, sollte der Fokus auf die entsprechende Tiefe



► **Fig. 3** Subclavian steal syndrome of the vertebral artery. On the image, the vertebral artery is derived in the V2 segment (note the acoustic shadow of the transverse processes on the B image as an anatomical guide structure). The Doppler flow spectrum shows a typical second-degree steal phenomenon (“steal” syndrome) on the left (systolic deceleration to baseline). An upper arm compression test was performed (cuff opening after the first two cardiac cycles shown), resulting in a passive complete reversal of flow direction (third-degree steal) in the vertebral artery and proving the steal phenomenon.

► **Abb. 3** Anzapfphänomen („Steal“) der A. vertebralis. Auf dem Bild wird die A. vertebralis im V2-Segment abgeleitet (beachte die Schallschatten der Transversalfortsätze auf dem B-Bild als anatomische Leitstruktur). Im Doppler-Strömungsspektrum zeigt sich links ein typisches Anzapfphänomen (sog. „Steal“-Syndrom) zweiten Grades (systolische Entschleunigung bis zur Grundlinie). Es wurde ein Oberarm-Kompressionstest durchgeführt (Manschettenöffnung nach den ersten beiden abgebildeten Herzzyklen), wodurch es zu einer passageren kompletten Umkehr der Strömungsrichtung (Steal dritten Grades) in der A. vertebralis kommt und das Anzapfphänomen bewiesen ist.

und Strömungsgeschwindigkeit angepasst werden – hier sind eine Reduktion der Pulsrepetitionsfrequenz und die Erhöhung der Eindringtiefe notwendig: Ein voreingestelltes, nun auswählbares „Geräte-Preiset“ bietet sich an. Alternativ kann zur manchmal schwierigen Identifizierung des Gefäßes eine Einstellung vom Abgangsbereich aus der A. subclavia versucht werden (V0- bzw. V1-Segment; ► **Abb. 2**, links), um dann das Gefäß kontinuierlich nach kranial zu verfolgen. Der Abgangsbereich der AV ist die Prädispositionsstelle für Stenosen. Durch den häufig geschlängelten Verlauf sind diese mitunter schwierig detektierbar, auch Atemexkursionen und Pulsationen des Aortenbogens können die Darstellung verkomplizieren. Pathologisch ist eine winkeltkorrigierte PSV > 120 cm/s; oft helfen auch indirekte Stenosekriterien, wie z. B. Strömungsturbulenzen oder distal pseudovenöse Strömungsprofile mit reduzierter Pulsatilität. Stenosen der AV



► **Fig. 4** Stenosis of the internal carotid artery. Synoptic view of a high-grade stenosis of the left internal carotid artery due to predominantly hypoechoic plaque with flow velocities of 370/150 cm/s (Doppler spectrum right) and pronounced spectrum disturbances in the form of contour oscillations immediately after the stenosis maximum (Doppler spectrum middle) to distal (Doppler spectrum left). Despite poststenotic systolic velocity of > 50 cm/s, there is a degree of stenosis of 80 % according to NASCET at flow velocity > 300 cm/s systolic and retrograde intracranial left anterior cerebral artery (not shown).

► **Abb. 4** Stenose der A. carotis interna. Synoptische Darstellung einer hochgradigen Stenose der A. carotis interna links durch überwiegend echoarme Plaques mit Strömungsgeschwindigkeiten von 370/150 cm/s (Dopplerspektrum rechts) und ausgeprägten Spektrum-Störungen in Form von Konturosillationen unmittelbar nach dem Stenosemaximum (Dopplerspektrum Mitte) bis nach distal (Dopplerspektrum links). Trotz poststenotischer systolischer Strömungsgeschwindigkeit von > 50 cm/s ist bei der Strömungsgeschwindigkeit > 300 cm/s systolisch und bei retrograder intrakranieller A. cerebri anterior links (nicht abgebildet) ein Stenosegrad von 80 % nach NASCET festzustellen.

the hand by opening and closing the fist during ischemia, which can increase diagnostic certainty.

Significance of stenosis grading of the extracranial internal carotid artery

Graduation of ICA stenosis (► **Fig. 4**) is an important decision criterion for recommending revascularizing therapy [11]. The NASCET measurement method (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial), which relates the local stenosis maximum to the distal vessel diameter (“distal stenosis grade”), has become the international standard for indicating the degree of stenosis, compared with the ECST measurement method (European Carotid Surgery Trial; local stenosis maximum in relation to the original vessel diameter at the level of the ste-

nosis; “local stenosis grade”). For example, in high-grade asymptomatic stenoses, an additional indicator of increased risk of ipsilateral ischemic events is the progression of the degree of stenosis by more than 20 % in one year under “best medical treatment” (BMT). The goal of any vascular diagnosis is therefore to grade ICA stenosis as accurately as possible [12–14]. Graduation can be based either on a single criterion, such as exceeding a threshold value of peak systolic flow velocities (PSV), possibly supplemented by additional criteria (consensus criteria of the Society of Radiologists in Ultrasound; SRU; ► **Table 2**; [15]), or on a multiparametric approach consisting of PSV, morphologic B-scan criteria, and various indirect criteria, such as end-diastolic and poststenotic flow velocities, or evidence of bypasses (criteria of the German Society of Ultrasound in Medicine (DEGUM) ► **Table 3**; [16]).

sind oft sehr kurzstreckig und nur punktuell darzustellen – ein Vergleich mit der Gegenseite unter Berücksichtigung etwaiger Hypoplasien ist hilfreich.

Bei Einstellung des V0/V1-Bereiches wird die A. subclavia, die sich durch ihr typisches triphasisches Strömungsprofil identifizieren lässt, mit dargestellt. Eine Drehung des Schallkopfes in die Supraklavikular-Grube mit nach kaudal gerichteter Sonde kann für eine bessere Darstellung notwendig sein. Bei Stenosierungen der A. subclavia kommt es zu einer Flussbeschleunigung, meist im proximalen Abschnitt, und zu einem Verlust des triphasischen Profils; höhergradige Stenosierungen führen zu einem Anzapfphänomen der ipsilateralen AV (Subclavian-Steal-Syndrom, ► **Abb. 3**).

Das Segment V2 der VA beginnt meist in Höhe des HWK 6 und lässt sich bis zur Atlasschlinge kontinuierlich verfolgen (► **Abb. 2**, Mitte). Durchmesservariationen der AV sind regelmäßig detektierbar (linke Seite häufig dominant). Eine einheitliche Definition einer Hypoplasie existiert nicht. In der Literatur werden am häufigsten ein absoluter Lumendurchmesser $\leq 2,0\text{--}2,5$ mm in mehreren Segmenten oder ein Durchmesser Verhältnis im Vergleich zur Gegenseite $> 1:1,7$ genannt [9, 10]. Oft bestehen dabei eine kontralaterale Hyperplasie (Lumendurchmesser $\geq 3,5$ mm), sowie im Seitenvergleich niedrige Strömungsgeschwindigkeiten und eine erhöhte Pulsatilität.

Bei Unsicherheiten oder zur Abgrenzung gegenüber dem Truncus thyreocervicalis können weitergeleitete rhythmische Undulationen im V3-Bereich bei der Identifizierung des Gefäßes hilfreich sein. Die extrakranielle Darstellung der AV endet mit der Dokumentation des V3-Segmentes, der Atlasschlinge (► **Abb. 2**, rechts). Der Schallkopf wird hier unterhalb des Mastoids aufgesetzt, die A. vertebralis verläuft hier bogenförmig und zeigt einen Fluss zur Sonde hin und wieder weg („Henkeltasse“).

Eine höhergradige proximale Stenosierung der A. subclavia kann zu einem Subclavian-Steal-Syndrom der AV führen (► **Abb. 3**), welches sich anfangs durch eine systolische Entschleunigung des Strömungsprofils (Grad 1) bemerkbar macht. Weiter fortgeschritten kann es zu einem Pendelfluss (Grad 2) oder sogar zu einer komplett retrograden Strömung der AV (Grad 3) kommen. Ein leichtgradiges Steal-Phänomen kann mittels eines „Oberarm-Kompressionstests“ verifiziert werden: Hierbei wird eine Blutdruckmanschette über eine Minute auf übersystolische Werte aufgepumpt, die Luft wird dann unter kontinuierlicher Beschallung der AV im V2-Segment rasch abgelassen, was zu einer passageren Verstärkung des Steals durch eine reaktive Hyperämie des Armes führt. Diese kann durch Arbeit mit der Hand im Sinne von Faustöffnen und -schließen während der Ischämie noch verstärkt werden, was die Sicherheit der Diagnostik erhöhen kann.

► **Tab. 2** Konsensus-Kriterien der Society of Radiologists in Ultrasound (SRU) [15].

Stenosegrad	ACI PSV	ACI EDV	ACI/ACC PSV Ratio
normal	< 125 cm/s	< 40 cm/s	< 2,0
< 50 %	< 125 cm/s	< 40 cm/s	< 2,0
50–69 %	125–230 cm/s	40–100 cm/s	2,0–4,0
≥ 70 %	> 230 cm/s	> 100 cm/s	> 4,0
subtotal	variabel	variabel	Variabel
Verschluss	nicht bestimmbar	nicht bestimmbar	nicht bestimmbar

Die SRU benutzt bei nachgewiesener Karotisplaque als Hauptkriterium der Stenosegraduierung nach o. a. Kategorien die PSV der ACI. Zusätzlich können die EDV der ACI und das Verhältnis der PSV von ACI zu ACC mitberücksichtigt werden, wenn die PSV der ACI alleine nicht das Ausmaß der Stenose abbilden sollte.

Die Bedeutung der Stenosegraduierung der extrakraniellen A. carotis interna

Die Graduierung einer ACI-Stenose (► **Abb. 4**) ist ein wichtiges Entscheidungskriterium für die Empfehlung einer revascularisierenden Therapie [11]. Als internationaler Standard bei der Angabe des Stenosegrades hat sich die NASCET-Messmethode (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial), bei der das lokale Stenosemaximum zum distalen Gefäßdurchmesser in Relation gesetzt wird („distaler Stenosegrad“), gegenüber der ECST-Messmethode (European Carotid Surgery Trial; lokale Stenosemaximum in Relation zu dem ursprünglichen Gefäßdurchmesser auf Höhe der Stenose; „lokaler Stenosegrad“), durchgesetzt. Bei hochgradigen asymptotischen Stenosen ist z. B. zusätzlich eine Progredienz des Stenosegrades um mehr als 20 % in einem Jahr unter BMT („best medical treatment“) ein Indikator für ein erhöhtes Risiko ipsilateraler ischämischer Ereignisse. Ziel einer jeden Gefäßdiagnostik ist daher eine möglichst präzise Graduierung von Stenosen der ACI [12–14]. Dabei kann die Graduierung entweder auf einem einzelnen Kriterium wie dem Überschreiten eines Grenzwertes der systolischen Spitzen-Strömungsgeschwindigkeiten (PSV), evtl. ergänzt durch Zusatzkriterien (gemäß den Konsensuskriterien der Society of Radiologists in Ultrasound; SRU; ► **Tab. 2**; [15]), oder auf einem multiparametrischen Ansatz aus PSV, morphologischen B-Bild-Kriterien und diversen indirekten Kriterien, wie z. B. den enddiastolischen- und poststenotischen Strömungsgeschwindigkeiten, oder dem Nachweis von Umgehungskreisläufen, beruhen (Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin (DEGUM); ► **Tab. 3**; [16]).

► **Table 2** Society of Radiologists in Ultrasound (SRU) Consensus Criteria [15].

Degree of stenosis	ICA PSV	ICA EDV	ICA/CCA PSV ratio
Normal	< 125 cm/s	< 40 cm/s	< 2.0
< 50 %	< 125 cm/s	< 40 cm/s	< 2.0
50–69 %	125–230 cm/s	40–100 cm/s	2.0–4.0
≥ 70 %	> 230 cm/s	> 100 cm/s	> 4.0
Subtotal	Variable	Variable	Variable
Occlusion	Cannot be determined	Cannot be determined	Cannot be determined

In cases of confirmed carotid artery plaque, the SRU uses the PSV of the ICA as the main criterion for stenosis grading according to the categories above. In addition, the EDV of the ICA and the ratio of the PSV of the ICA to the CCA can be taken into account, if the PSV of the ICA alone should not reflect the extent of the stenosis.

According to the SRU consensus criteria, an ICA stenosis $\geq 50\%$ is present when a PSV of 125 cm/s is exceeded, and an ICA stenosis $\geq 70\%$ is present when a PSV of 230 cm/s is exceeded. Additional criteria are a ratio of the ICA PSV to CCA of > 2 for ICA stenosis $\geq 50\%$ and > 4 for ICA stenosis $\geq 70\%$ and end-diastolic values > 40 cm/s and 100 cm/s respectively. A retrospective analysis by the Intersocietal Accreditation Commission of the USA of internal validation studies conducted for the purpose of accreditation of vascular laboratories revealed that the degree of stenosis determined by duplex sonography according to SRU criteria was often overestimated compared to the measurement of the degree of stenosis using digital subtraction angiography (DSA) [17]. An improvement in the specificity and overall accuracy of the diagnosis of ICA stenosis $\geq 50\%$ is achieved either by exceeding a PSV ≥ 180 cm/s or by the additional criterion of an ICA/CCA ratio ≥ 2 at a PSV between 125 and 170 cm/s. The diagnosis of ICA stenosis $\geq 70\%$ is enhanced by the additional criterion of an ICA/CCA ratio ≥ 3.3 at a PSV ≥ 230 cm/s [17].

Reasons for this discrepancy when PSV is used alone include both the NASCET measurement method, which does not perform planimetric measurement in the cross-section but assesses stenoses only in longitudinal section (discrepancy in round versus renal residual lumen), and the flow physics of jet flow and the measurement method of duplex ultrasonography. Thus, flow velocities do not increase linearly with the narrowing of the vessel lumen, but fall again according to the Spencer curve for very high-grade stenoses (false low grade of stenosis) [18]. Well-formed collateral circuits reduce the flow volume through the stenosis and thus reduce PSV. Contralateral occlusions, on the other hand, can increase the flow volume. The exact direction of the jet flow is often not clearly identifiable (helical winding of the jet flow through the stenosis), so that an incorrectly adjusted insonation angle can distort the measurement of PSV. Strong poststenotic turbulence after short stenoses leads to a relative predominance of low-frequency components in the Doppler frequency spectrum [19]. These limitations in measuring PSV justify the rational of a multiparametric approach to stenosis grading by DEGUM, which adds morphologic criteria of the B-scan for low-grade stenoses and indirect criteria (e. g., developed collateral circulation) for high-grade stenoses. Duplex ultrasonography of the extracranial ICA is supplemented by transcranial Doppler or duplex ultrasonography to detect collateralization via the anterior or posterior communicating artery of the arterial circle of Willis and by examination of the terminal branches of the ophthalmic (supratrochlear) artery using a 4 or 8 MHz cw Doppler pencil probe or transorbital by duplex ultrasonography of the ophthalmic artery (EJU-12–2022–4213-CE.R1, accepted for publication).

Validation of the DEGUM multiparametric grading criteria compared with the DSA showed a sensitivity of 90.2% and specificity of 76.5% (overall accuracy 85.9%) for detecting ICA stenosis $\geq 50\%$, and a sensitivity of 81.3% and specificity of 68.7% (overall accuracy 73.6%) for detecting ICA stenosis $\geq 70\%$ [20]. A direct comparison of the DEGUM multiparametric graduation criteria with the SRU graduation criteria versus DSA as the “gold standard” showed a significant reduction of incorrect classifications into the category of ICA stenoses $\geq 70\%$ when the DEGUM criteria were used (specificity of DEGUM criteria 70.2% versus specificity of SRU criteria 56.4%). However, the overall accuracy did not differ significantly (85.4% versus 84.8% for ICA stenosis $\geq 50\%$ and 74.1% versus 65.8% for ICA stenosis $\geq 70\%$) [21].

Another indirect criterion of high-grade ICA stenosis ($\geq 80\%$) that is not listed in ► **Table 3** is a partially collapsed distal vascular lumen caused by the drop in pressure distal to the stenosis. This means that the NASCET method for measuring the degree of stenosis cannot be validly used in angiography. Thus, a distal lumen of the ICA ≤ 3.2 mm on duplex ultrasound had a sensitivity of 92% and a specificity of 96% (overall accuracy 98.6%) for detecting very high-grade ICA stenosis $\geq 80\%$ [22].

Another indirect criterion of high-grade ICA stenosis ($\geq 80\%$) that is not listed in ► **Table 3** is a partially collapsed distal vascular lumen caused by the drop in pressure distal to the stenosis. This means that the NASCET method for measuring the degree of stenosis cannot be validly used in angiography. Thus, a distal lumen of the ICA ≤ 3.2 mm on duplex ultrasound had a sensitivity of 92% and a specificity of 96% (overall accuracy 98.6%) for detecting very high-grade ICA stenosis $\geq 80\%$ [22].

Identification of emboligenicity

Guidelines for the treatment of asymptomatic ICA stenosis $\geq 60\%$ recommend revascularizing treatment if there is an increased risk of ischemic events during BMT. In addition to clinically silent infarcts on cerebral imaging and the aforementioned increase in the degree of stenosis

► **Tab. 3** Multiparametrische Stenosegraduierung der A. carotis interna gemäß der DEGUM [16].

Stenosegrad (NASCET-Definition) (%)	10	20–40	50	60	70	80	90	Verschluss	
Stenosegrad alt (ECST-Definition) (%)	45	50–60	70	75	80	90	95	Verschluss	
Hauptkriterien	1. B-Bild	+++	+						
	2. Farbdoppler-Bild	+	+++	+	+	+	+	+++	
	3. Systolische Spitzengeschwindigkeit im Stenosemaximum (cm/s) ca.			200	250	300	350–400	100–500	
	4. Systolische Spitzengeschwindigkeit poststenotisch (cm/s)					> 50	< 50	< 30	
	5. Kollateralen und Vorstufen (Periorbitalarterien/ACA)					(+)	++	+++	+++
Zusatzkriterien	6. Diastolische Strömungsverlangsamung prästenotisch (ACC)					(+)	++	+++	+++
	7. Strömungsstörungen poststenotisch			+	+	++	+++	(+)	
	8. Enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit im Stenosemaximum (cm/s) ca.			bis 100	bis 100	über 100	über 100		
	9. Konfetti-Zeichen				(+)	++	++		
	10. Stenose-Index ACI/ACC			≥ 2	≥ 2	≥ 4	≥ 4		

Die multiparametrische Stenosegraduierung der DEGUM benutzt neben verschiedenen systolischen und diastolischen Spitzen-Strömungsgeschwindigkeiten auch morphologische B-Bild-Kriterien und diverse indirekte Kriterien, wie z. B. die Ausbildung von Umgehungskreisläufen.

Anmerkungen zu den Kriterien 1–10: Stenosegrad nach NASCET (in %): Die Zahlenangaben betreffen jeweils einen 10 %-Bereich ($\pm 5\%$). Kriterium 2: Nachweis der geringgradigen Stenose (lokaler Alias-Effekt), in Abgrenzung zur nicht stenosierenden Plaque, Darstellung der Strömungsrichtung bei mittel- und hochgradigen Stenosen sowie Nachweis des Gefäßverschlusses. Kriterium 3: Kriterien gelten für Stenosen mit einer Länge von 1–2 cm und nur eingeschränkt bei Mehrgefäßprozessen. Kriterium 4: Messung weit distal, außerhalb der Zone mit Jet-Strom und Strömungsstörungen. Kriterium 5: Evtl. ist nur eine der Kollateralverbindungen betroffen: Wenn allein extrakraniell untersucht wird, ist die Wertigkeit der Befunde geringer. Kriterium 9: Ein Konfetti-Zeichen ist nur bei niedrig eingestellter PRF erkennbar. Abkürzungen: ACA: A. cerebri anterior. ACC: A. carotis communis. ACI: A. carotis interna.

Gemäß den Konsensuskriterien der SRU liegt eine ACI-Stenose $\geq 50\%$ bei Überschreiten einer PSV von 125 cm/s und eine ACI-Stenose $\geq 70\%$ bei Überschreiten einer PSV von 230 cm/s vor. Zusatzkriterien sind eine Ratio aus PSV der ACI zur ACC von > 2 für eine ACI-Stenose $\geq 50\%$ bzw. > 4 für eine ACI-Stenose $\geq 70\%$ und enddiastolische Werte von > 40 cm/s bzw. 100 cm/s. Eine retrospektive Analyse der US-amerikanischen IAC (Intersocietal Accreditation Commission) von laborinternen Validierungsstudien, die zum Zwecke der Akkreditierung von vaskulären Labors durchgeführt wurden, ergab, dass der nach SRU-Kriterien duplexsonografisch ermittelte Stenosegrad im Vergleich zur Messung des Stenosegrads mit der digitalen Subtraktionsangiografie (DSA) häufig überschätzt wurde [17]. Eine Verbesserung der Spezifität und der Gesamtgenauigkeit der Diagnose einer ACI-Stenose $\geq 50\%$ wird entweder bei Überschreiten einer PSV ≥ 180 cm/s oder durch das Zusatzkriterium einer ACI/ACC-Ratio ≥ 2 bei PSV zwischen 125 und 170 cm/s erreicht. Die Diagnose einer ACI-Stenose $\geq 70\%$ wird durch das Zusatzkriterium einer ACI/ACC-Ratio $\geq 3,3$ bei PSV ≥ 230 cm/s verbessert [17].

Die Gründe für diese Diskrepanz bei alleiniger Verwendung der PSV liegen sowohl in der NASCET-Messmethode, die keine planimetrische Messung im Querschnitt durchführt, sondern die Stenosen nur im Längsschnitt beurteilt (Diskrepanz bei rundem versus nierenförmigem Restlumen), als auch in der Strömungsphysik der Jet-Strömung und der Messmethode der Duplexsonografie. So steigen die Strömungsgeschwindigkeiten nicht linear mit der Verengung des Gefäßlumens an, sondern fallen gemäß der Spencer-Kurve bei sehr hochgradigen Stenosen wieder ab (falsch-niedriger Stenosegrad) [18]. Gut ausgebildete Kollateralkreisläufe vermindern das Strömungsvolumen durch die Stenose und reduzieren dadurch die PSV. Kontralaterale Verschlüsse können hingegen das Strömungsvolumen erhöhen. Die exakte Richtung der Jet-Strömung ist häufig nicht eindeutig zu erkennen (helikale Windung der Jet-Strömung durch die Stenose), sodass ein nicht korrekt eingestellter Beschallungswinkel die Messung der PSV verfälschen kann. Starke poststenotische Verwirbelungen nach kurzstreckigen Stenosen führen zu einem relativen Überwiegen nieder-

► **Table 3** Multiparametric stenosis grading of the internal carotid artery according to DEGUM [16].

Degree of stenosis (NASCET definition) (%)	10	20–40	50	60	70	80	90	Occlusion	
Degree of stenosis old (ECST definition) (%)	45	50–60	70	75	80	90	95	Occlusion	
Major criteria	1. B-mode	+++	+						
	2. Color Doppler image	+	+++	+	+	+	+	+++	
	3. Peak systolic velocity in the stenosis maximum (cm/s) approx.			200	250	300	350–400	100–500	
	4. Peak systolic velocity post-stenotic (cm/s)					>50	<50	<30	
	5. Collaterals and precursors (periorbital arteries/ACA)					(+)	++	+++	+++
Additional criteria	6. Diastolic flow slowing prestenotic (CCA)					(+)	++	+++	+++
	7. Flow disturbances post-stenotic			+	+	++	+++	(+)	
	8. End-diastolic velocity at stenosis maximum (cm/s) approx.			up to 100	up to 100	over 100	over 100		
	9. Confetti sign				(+)	++	++		
	10. Stenosis index ICA/CCA			≥2	≥2	≥4	≥4		

DEGUM multiparametric stenosis grading uses different peak systolic and diastolic velocities as well as morphologic B-scan criteria and various indirect criteria such as the formation of bypasses.

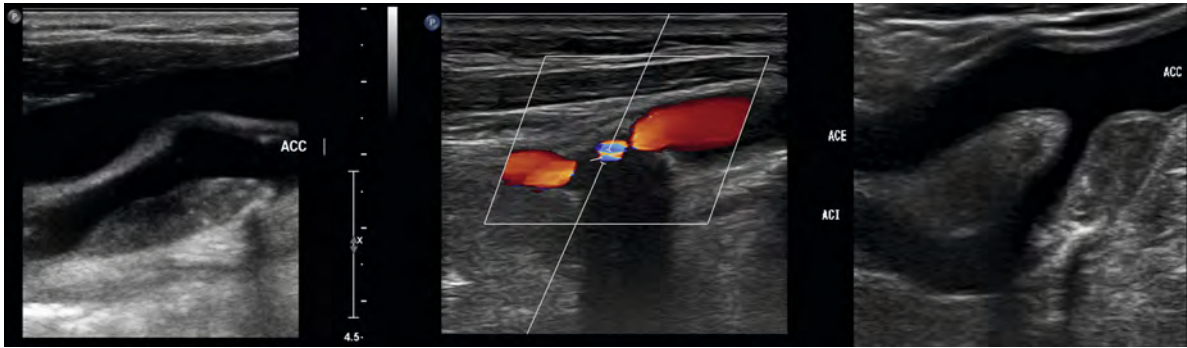
Comments on criteria 1–10: NASCET degree of stenosis (%): The figures each relate to a 10% range ($\pm 5\%$). Crit. 2: Detection of low-grade stenosis (local alias effect) in differentiation from non-stenotic plaque, visualization of flow direction in moderate and high-grade stenosis, and detection of vessel occlusion. Crit. 3: Criteria apply to stenosis with a length of 1–2 cm and only limited in the case of multi-vascular processes. Crit. 4: Measurement far distal, outside the zone with jet stream and flow disturbances. Crit. 5: Possibly only one of the collaterals is affected: if extracranial alone is examined, the value of the findings is lower. Crit. 9: Confetti sign is only recognizable with a low PRF. Abbreviations: ACA: Anterior cerebral artery CCA: Common carotid artery ICA: Internal carotid artery

>20%, characteristics of atherosclerotic plaques in the carotid bifurcation are particularly suitable predictors of increased embolic risk (► **Fig. 5**). This includes a plaque area >40 mm² determined by duplex ultrasound, a highly echo-deficient structure of the plaque, evidence of juxtaluminous hypoechoic areas >4 mm², and plaque perfusion detected by echo signal amplifiers as a surrogate for neovascularization [12, 14, 23]. Hypoechoic plaque and contralateral stenosis or occlusion of the ICA were also associated with an increased cerebrovascular event rate in the multicenter SPACE-2 trial [24]. Other embolic factors include hemorrhage into the plaque or plaque volume detectable by MRI [25], detection of microembolism signals in transcranial Doppler/duplex ultrasound (EJU-12-2022-4213-CE.R1, accepted for publication), and limited cerebrovascular reserve capacity [13, 26]. Other ultrasound technologies such as “Advanced (Superb) Microvascular Imaging” to assess plaque perfusion and potential emboligenicity are now being used and can provide additional information here [27, 28].

A major advantage of duplex ultrasound is the ability to assess progression non-invasively, which may represent a dynamization/change in plaque morphology/grade of stenosis and thus contribute to personalized stroke risk assessment. The simplified visualization of the collected findings to the patient can also be well realized and makes a positive contribution to reducing the individual cardiovascular risk [29].

Dissections of the carotid and vertebral arteries

Spontaneous dissections of the carotid and vertebral arteries occur by rupture of the vasa vasorum and primarily without rupture of the intima. This results in a mural hematoma that constricts the vessel lumen and may secondarily rupture into the lumen by the intima tearing (► **Fig. 6**). Spontaneous dissections of the ICA typically develop in the vascular section before entering the petrous bone and can extend caudally to just above the carotid bifurcation. A typical sonographic finding of ICA dissection is an elongated, tapered stenosis with an



► **Fig. 5** Typical plaques at the carotid bifurcation. Large and predominantly hypoechoic plaque in a patient with ipsilateral cerebral ischemia (left; hypoechoic plaque rupture). A stenosing, calcified plaque is shown in the center, resulting in distal acoustic shadowing. Hypoechoic plaque with partially calcified portions in the lower region (right).

► **Abb. 5** Typische Plaques an der Karotisbifurkation. Große und überwiegend echoarme Plaque bei einem Patienten mit ipsilateraler zerebraler Ischämie (links; fragile hypoechogene Plaqueruptur). In der Mitte ist eine stenosierende, kalzifizierte Plaque dargestellt, die zu einer distalen Schallauslöschung führt. Echoarme Plaque mit teil-kalzifizierten Anteilen im unteren Bereich (rechts).

frequenter Anteile im Doppler-Frequenzspektrum [19]. Diese Einschränkungen bei der Messung der PSV begründen das Rational eines multiparametrischen Ansatzes der Stenosegraduierung der DEGUM (► **Tab. 3**, Zitat 15), die bei niedriggradigen Stenosen morphologische Kriterien des B-Bildes und bei hochgradigen Stenosen indirekte Kriterien (z. B. ausgebildete Kollateralkreisläufe) hinzuzieht. Ergänzt wird dabei die Duplexsonografie der extrakraniellen ACI durch eine transkraniale Doppler- oder Duplexsonografie zur Feststellung einer Kollateralisation über den R. communicans anterior oder posterior des Circulus arteriosus Willisii und durch eine Untersuchung der Endäste der A. ophthalmica (A. supratrochlearis) mittels einer 4- oder 8-MHz-cw-Doppler-Stiftsonde, oder transorbital mittels Duplexsonografie der A. ophthalmica [1].

Eine Validierung der multiparametrischen Graduierungskriterien der DEGUM im Vergleich mit der DSA ergab eine Sensitivität von 90,2% und eine Spezifität von 76,5% (Gesamtgenauigkeit 85,9%) für die Erkennung einer ACI-Stenose $\geq 50\%$ bzw. eine Sensitivität von 81,3% und eine Spezifität von 68,7% (Gesamtgenauigkeit 73,6%) für die Erkennung einer ACI-Stenose $\geq 70\%$ [20]. Ein direkter Vergleich der multiparametrischen Graduierungskriterien der DEGUM mit den Graduierungskriterien der SRU gegenüber der DSA als „Goldstandard“ ergab bei Verwendung der DEGUM-Kriterien eine signifikante Reduktion fehlerhafter Klassifikationen in die Kategorie der ACI-Stenosen $\geq 70\%$ (Spezifität der DEGUM-Kriterien 70,2% versus Spezifität der SRU-Kriterien 56,4%). Die Gesamtgenauigkeit unterschied sich allerdings nicht signifikant (85,4% versus 84,8% für eine ACI-Stenose $\geq 50\%$ bzw. 74,1% versus 65,8% für eine ACI-Stenose $\geq 70\%$) [21].

Ein weiteres indirektes Kriterium einer hochgradigen ACI-Stenose ($\geq 80\%$) welches nicht in ► **Tab. 3** aufgeführt ist, ist ein teilkollabiertes distales Gefäßlumen, das durch den

Druckabfall distal der Stenose bedingt ist. Hierdurch kann die NASCET-Methode zur Messung des Stenosegrades bei der Angiografie nicht valide angewendet werden. So wies ein distales Lumen der ACI $\leq 3,2$ mm in der Duplexsonografie eine Sensitivität von 92% und eine Spezifität von 96% (Gesamtgenauigkeit 98,6%) für die Erkennung einer sehr hochgradigen ACI-Stenose $\geq 80\%$ auf [22].

Die Identifikation der Emboligenität

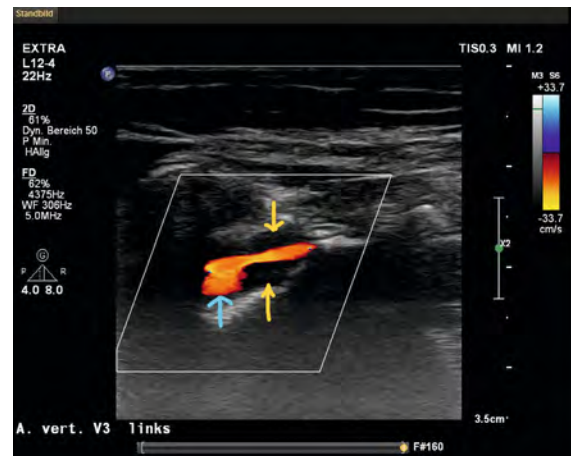
Die Leitlinien zur Behandlung asymptomatischer ACI-Stenosen $\geq 60\%$ empfehlen eine revaskularisierende Therapie, wenn erhöhte Risiken für ischämische Ereignisse unter BMT bestehen. Neben klinisch stummen Infarkten in der zerebralen Bildgebung und der bereits genannten Zunahme des Stenosegrades $> 20\%$ sind vor allem Charakteristika der atherosklerotischen Plaques in der Karotisbifurkation geeignete Prädiktoren eines erhöhten emboligenen Risikos (► **Abb. 5**). Hierzu gehören eine mit der Duplexsonografie ermittelte Plaquefläche > 40 mm², eine stark echoarme Struktur der Plaque, der Nachweis juxtaluminale hypoechogener Areale > 4 mm² sowie eine mithilfe von Echosignalverstärkern nachgewiesene Plaque-Perfusion als Surrogat für eine Neovaskularisation [12, 14, 23]. Eine hypoechogene Plaque und eine kontralaterale Stenose oder ein Verschluss der ACI waren auch in der multizentrischen SPACE-2-Studie mit einer erhöhten zerebrovaskulären Ereignisrate vergesellschaftet [24]. Als weitere emboligene Faktoren wären eine mittels MRT feststellbare Einblutung in die Plaque oder das Plaque-Volumen zu nennen [24], der Nachweis von Mikroembolie-Signalen in der transkranialen Doppler/-Duplexsonografie [1] sowie eine eingeschränkte zerebrovaskuläre Reservekapazität [13, 26]. Weitere Ultraschalltechnologien, wie z. B. das „Advanced (Superb) Microvascular Imaging“ zur Beurteilung der Plaque-Perfusion und der potenziel-

eccentrically located low-echo mural hematoma in the distal section. The stenosis maximum is usually too far distal to graduate the stenosis [30]. Proximal CCA dissections should be promptly evaluated for suspected aortic dissection if diagnosed for the first time.

VA dissections most commonly occur in the V3 segment above or below the first cervical vertebra or when passing through the dura in the foramen magnum, as the vessel is partially fixed there by connective tissue and can be injured during jerky shearing movements. From here, the dissection may continue cranially to intracranially and caudally over a longer distance. In vertebral artery dissections, a mural hematoma can often be detected in the vascular segments between the transverse processes of the cervical vertebral bodies. A double lumen, on the other hand, is rare. In the case of a high-grade luminal narrowing at the level of the atlas loop, a “sloshing phenomenon” can be detected in the V2 segment [30]. Hematoma-related vascular narrowing must not be confused with large vessel vasculitis, which is often concentric and longer in distance (► Fig. 7).

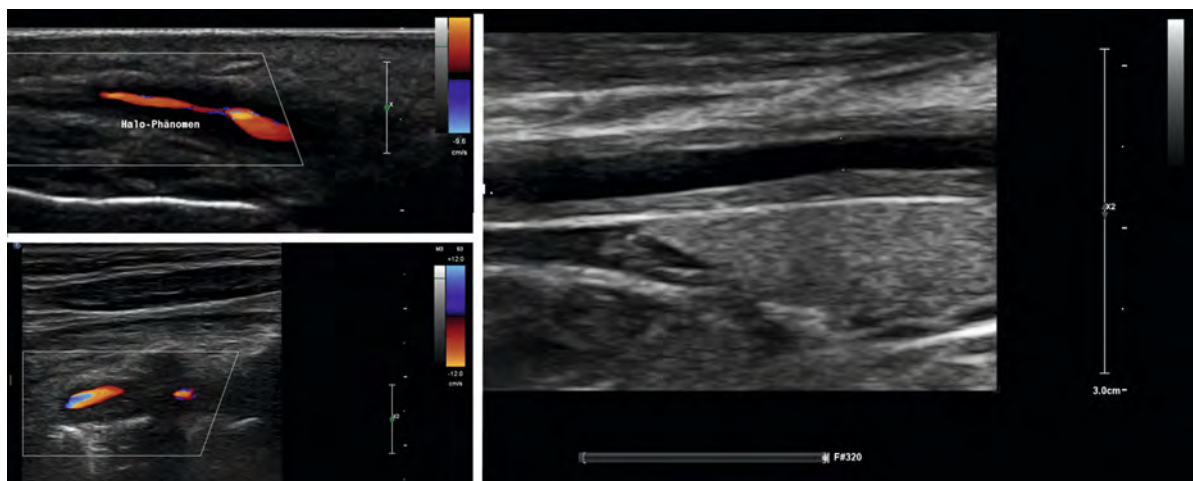
Note

In the presence of high-grade luminal narrowing at the level of the skull base, flow obstruction can be detected by indirect criteria of increased pulsatility of the Doppler spectral waveform of the ICA and CCA.



► **Fig. 6** Dissection of the vertebral artery. The distal segment of the extracranial vertebral artery (V3) can be seen in the image. Typical of a dissection, a hypoechoic mural hematoma (yellow arrows) can be seen stenosing the vessel, while a small aneurysm has formed further along (blue arrow).

► **Abb. 6** Dissektion der A. vertebralis. Auf dem Bild ist der distale Abschnitt der A. vertebralis extrakraniell (V3) zu sehen. Typisch für eine Dissektion erkennt man ein echoarmes Wandhämatom (gelbe Pfeile), welches das Gefäß stenostiert, während sich im weiteren Verlauf ein kleines Aneurysma ausgebildet hat (blauer Pfeil).



► **Fig. 7** Differential diagnosis of concentric vasoconstriction. Halo phenomenon of the temporal artery in a 75-year-old female patient with cranial arteritis (left, top); the vertebral artery is also involved (left, bottom) and shows a marked hypoechoic rim. Right: B-mode image of the CCA of a young patient with Takayasu's arteritis shows long-stretch concentric involvement of the vessel wall.

► **Abb. 7** Differenzialdiagnose der konzentrischen Gefäßeinengung. Halo-Phänomen der A. temporalis bei einer 75-jährigen Patientin mit Arteritis cranialis (links, oben); die AV ist ebenfalls mitbeteiligt (links, unten) und zeigt einen ausgeprägten hypocho-

len Emboligenität, werden zwischenzeitlich eingesetzt und können hier zusätzliche Informationen bieten [27, 28].

Ein großer Vorteil der Duplexsonografie ist die Möglichkeit der nicht invasiven Verlaufsbeurteilung, die eine Dynamisierung bzw. Veränderung der Plaque-Morphologie und des Stenosegrades darstellen kann und so zu einer personalisierten Einschätzung des Schlaganfallrisikos mit beitragen kann. Auch die vereinfachte Visualisierung der erhobenen Befunde dem Patienten gegenüber kann gut realisiert werden und leistet einen positiven Beitrag bezüglich der Reduzierung des individuellen kardiovaskulären Risikos [29].

Dissektionen der A. carotis und der A. vertebralis

Spontane Dissektionen der A. carotis und der AV entstehen durch Ruptur der Vasa vasorum und primär ohne Einriss der Intima. Dadurch entsteht ein Wandhämatom, welches das Gefäßlumen einengt und sekundär durch einen Einriss der Intima in das Lumen durchbrechen kann (► **Abb. 6**). Spontane Dissektionen der ACI entstehen typischerweise im Gefäßabschnitt vor Eintritt in das Felsenbein und können sich nach kaudal bis knapp oberhalb der Karotisbifurkation erstrecken. Ein typischer sonografischer Befund einer ACI-Dissektion ist eine langstreckige, spitz zulaufende Stenose mit einem exzentrisch gelegenen, echoarmen Wandhämatom im distalen Abschnitt. Das Stenosemaximum liegt in der Regel zu weit distal, um eine Graduierung der Stenose vornehmen zu können [30]. Bei Dissektionen der proximalen ACC sollte der Verdacht auf eine Aortendissektion umgehend abgeklärt werden, falls diese erstmalig diagnostiziert wurde.

Dissektionen der AV treten meistens im V3-Segment ober- oder unterhalb des 1. Halswirbels oder beim Durchritt durch die Dura im Foramen magnum auf, da das Gefäß dort teilweise bindegewebig fixiert ist und bei ruckartigen Scherbewegungen verletzt werden kann. Von hier kann sich die Dissektion nach kranial, nach intrakraniell und kaudal über eine längere Strecke fortsetzen. Bei Dissektionen der AV kann häufig ein Wandhämatom in den Gefäßabschnitten zwischen den Querfortsätzen der Halswirbelkörper nachgewiesen werden. Ein doppeltes Lumen ist hingegen selten. Bei einer hochgradigen Lumeneinengung in Höhe der Atlasschlinge kann im V2-Segment ein „Schwapp-Phänomen“ nachgewiesen werden [30]. Die hämatombedingte Gefäßeinengung darf nicht mit einer Großgefäß-Vaskulitis verwechselt werden, welche häufig konzentrisch und längerstreckig ausgeprägt ist (► **Abb. 7**).

Merke

Bei einer hochgradigen Lumeneinengung in Höhe der Schädelbasis kann die Strömungsbehinderung über indirekte Kriterien einer erhöhten Pulsatilität der Dopplerströmungspulskurve der ACI und der ACC nachgewiesen werden.

Stents in der A. carotis interna

Durch eine Abnahme der Gefäß-Compliance und durch eine Veränderung der messbaren Strömungsphänomene liegen die Strömungsgeschwindigkeiten bei Stenosierung innerhalb eines Stents etwas höher als bei „normalen“ Einengungen. Als Grenze für eine In-Stent-Restenose von 50 % kann eine PSV > 225 cm/s und für 70 % von > 350 cm/s berücksichtigt werden [31].

FALLSTRICKE ([30, 32, 33])

- Die Länge der Stenosierung beeinflusst systolische Spitzen-Strömungsgeschwindigkeiten (höher bei sehr kurzstreckigen- und niedriger bei langstreckigen Stenosen).
- Tandem-Stenosen (zusätzliche Stenose der intrakraniellen ACI) führen zu niedrigeren systolischen Spitzen-Strömungsgeschwindigkeiten im extrakraniellen Stenosemaximum.
- Eine arteriovenöse Fistel, die von der ACE gespeist wird, führt zur „Internalisierung“ des Dopplerspektrums der ACE mit hohen enddiastolischen Strömungsgeschwindigkeiten.
- Kalzifizierte Plaques mit Schallauslöschung können eine Strömungsmessung unmöglich machen – eine Verwechslung mit Verschlüssen ist möglich.
- Eine Großgefäß-Vaskulitis (Riesenzell-Arteriitis, Takayasu-Arteriitis) führt zu konzentrischen, homogen echoarmen Wandverdickungen: Eine Verwechslung mit Dissektionen ist möglich.
- Abgangs anomalie der A. pharyngea ascendens, die aus der ACI entspringt und parallel zu dieser verläuft (kann als Kollaterale wieder in die ACI einmünden und einen kurzstreckigen ACI-Verschluss überbrücken)
- Fensterung der AV (normales Dopplerspektrum in beiden Lumen): Verwechslung mit einer Dissektion (pathologisches Dopplerspektrum in mindestens einem der beiden Lumen)
- A. lusoria (die rechte A. subclavia entspringt aus der Aorta descendens statt aus dem Truncus brachiocephalicus)
- Truncus bicaroticus (beide Karotiden entspringen aus einem gemeinsamem Truncus)

Stents in the internal carotid artery

Due to a decrease in vessel compliance and change in measurable flow phenomena, flow velocities are somewhat higher in stenosis within a stent than in “normal” constrictions. A PSV > 225 cm/s for 50 % and a PSV > 350 cm/s for 70 % can be considered as a threshold for in-stent residual stenosis [31].

PITFALLS ([30, 33, 33])

- The length of stenosis influences peak systolic flow velocities (higher for very short and lower for long stenoses)
- Tandem stenoses (additional stenosis of the intracranial ICA) result in lower peak systolic flow velocities in the extracranial stenosis maximum
- An arteriovenous fistula fed by the ECA leads to “internalization” of the Doppler spectrum of the ECA with high end-diastolic flow velocities
- Calcified plaques with acoustic shadowing may make flow measurement impossible, and confusion with occlusions is possible.
- Large vessel vasculitis (giant cell arteritis, Takayasu’s arteritis) results in concentric, homogeneously hypoechoic wall thickening: Confusion with dissections is possible
- Abnormal origin of the ascending pharyngeal artery arising from and running parallel to the ICA (may rejoin the ICA as a collateral and bridge a short ICA occlusion)
- VA fenestration (normal Doppler spectrum in both lumen): Confusion with dissection (pathological Doppler spectrum in at least one of the two lumen)
- A. lusoria (right subclavian artery arises from the descending aorta instead of the brachiocephalic trunk)
- Truncus bicaroticus (both carotids arise from a common truncus)

KEY TAKEAWAYS

- All findings should be understandable based on the image and curve documentation
- The multiparametric approach to ICA stenosis grading is based on both peak systolic and diastolic flow velocities and B-scan morphologic criteria; in high-grade stenoses, it is additionally based on indirect criteria and the presence of collateral circulation.
- A multiparametric approach enables grading of high-grade ICA stenosis in 10 % increments

- Intima-media thickness (IMT) is determined in a plaque-free region 2 cm proximal to the bulb in the CCA on the posterior vessel wall
- In B-mode imaging, atherosclerotic plaques are described using echogenicity, internal structure, and surface
- The origin of the vertebral artery from the subclavian artery is a predisposition site for stenosis
- Criteria for stenosis of the vertebral artery at the origin from the subclavian artery is an angle-corrected PSV > 120 cm/s
- There is hypoplasia of the VA with an absolute lumen diameter ≤ 2.0–2.5 mm in several segments or a diameter ratio compared to the opposite side > 1:1.7
- Higher-grade stenosis of the subclavian artery leads to a subclavian steal syndrome of the ipsilateral vertebral artery
- Criteria of a subclavian steal syndrome of the VA include systolic deceleration (grade 1) of the flow profile, alternating flow (grade 2), or completely retrograde flow (grade 3) in the VA

Conflict of Interest

Declaration of financial interests

Receipt of research funding: Yes, from another institution (pharmaceutical or medical technology company, etc.); receipt of payment/financial advantage for providing services as a lecturer: no; paid consultant/internal trainer/salaried employee: no; patent/business interest/shares (author/partner, spouse, children) in company: no; patent/business interest/shares (author/partner, spouse, children) in sponsor of this CME article or in company whose interests are affected by the CME article: no.

Declaration of non-financial interests

The authors declare that there is no conflict of interest.

Correspondence

Prof. Dr. Med. Klaus Gröschel

Department of Neurology
University Medical Center of the Johannes Gutenberg
University Mainz
Langenbeckstr. 1
55131 Mainz
Germany
Tel.: 49/61 31/17 31 05
Fax: 49/61 31/17 47 31 05
klaus.groeschel@unimedizin-mainz.de

KERNAUSSAGEN

- Alle Befunde sollten anhand der Bild- und Kurvendokumentation nachvollziehbar sein.
- Der multiparametrische Ansatz der Graduierung von ACI-Stenosen beruht sowohl auf systolischen und diastolischen Spitzen-Strömungsgeschwindigkeiten, und daneben auch auf morphologischen Kriterien des B-Bildes – bei hochgradigen Stenosen zusätzlich auf indirekten Kriterien und dem Vorhandensein von Kollateralkreisläufen.
- Über einen multiparametrischen Ansatz gelingt die Graduierung hochgradiger Stenosen der ACI in 10 %-Schritten.
- Die Bestimmung der Intima-Media-Dicke (IMT) erfolgt in einer plaquefreien Region 2 cm proximal des Bulbus in der ACC an der posterioren Gefäßwand.
- Die Beschreibung atherosklerotischer Plaques erfolgt im B-Bild über Echogenität, Binnenstruktur und Oberfläche.
- Der Abgangsbereich der AV ist eine Prädilektionsstelle für Stenosierungen.
- Kriterium einer Stenose der AV am Abgang ist eine winkelkorrigierte PSV > 120 cm/s.
- Eine Hypoplasie der AV besteht bei einem absoluten Lumendurchmesser ≤ 2,0–2,5 mm in mehreren Segmenten oder einem Durchmesser Verhältnis im Vergleich zur Gegenseite > 1:1,7.
- Höhergradige Stenosierungen der A. subclavia führen zu einem Anzapfphänomen („Steal“) der ipsilateralen AV.
- Die Kriterien eines Subclavian-Steal-Syndroms der AV sind eine systolische Entschleunigung (Grad 1) des Strömungsprofils, ein Pendelfluss (Grad 2) oder eine komplett retrograde Strömung (Grad 3) in der AV.

Interessenkonflikt

Erklärung zu finanziellen Interessen

Forschungsförderung erhalten: ja, von einer anderen Institution (Pharma- oder Medizintechnikfirma usw.); Honorar/geldwerten Vorteil für Referententätigkeit erhalten: nein; Bezahler Berater/interner Schulungsreferent/Gehaltsempfänger: nein; Patent/Geschäftsanteile/Aktien (Autor/Partner, Ehepartner, Kinder) an Firma (Sponsor der Veranstaltung): nein; Patent/Geschäftsanteile/Aktien (Autor/Partner, Ehepartner, Kinder) an Firma (Nicht-Sponsor der Veranstaltung): nein.

Erklärung zu nichtfinanziellen Interessen

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Klaus Gröschel

Department of Neurology
University Medical Center of the Johannes Gutenberg
University Mainz
Langenbeckstr. 1
55131 Mainz
Germany
Tel.: 49/61 31/17 31 05
Fax: 49/61 31/17 47 31 05
klaus.groeschel@unimedizin-mainz.de

Literatur

- [1] Gröschel K, Harrer JU, Schminke U et al. Ultrasound assessment of brain supplying arteries (transcranial). *Ultraschall in Med* 2023. doi:10.1055/a-2103-4981
- [2] DEGUM. Recommendations for documentation of neurosonographic examinations. 2023. Im Internet (Stand: 02.05.2023): https://www.degum.de/fileadmin/dokumente/sektionen/neurologie/richtlinien/DokuEmpfehlungen_Englisch_korrigiert.pdf
- [3] Widder B, Hamann G. Duplexsonographie der hirnversorgenden Arterien. 7. Auflage. Deutschland: Springer-Verlag GmbH; 2018. doi:10.1007/978-3-642-29812-7
- [4] Valdueza Barrios JM, Schreiber S, Röhl J-E et al. Neurosonology and Neuroimaging of Stroke: A Comprehensive Reference; Georg Thieme Verlag KG; 2016. doi:10.1055/b-004-135648
- [5] European Society of Neurosonology and Cerebral Hemodynamics (ESNCH). Practical examination procedures and evaluation. 2023. Im Internet (Stand: 10.07.2023): <https://esnch.org/wp-content/uploads/2023/06/Practical-Examination-Procedures-and-Evaluation-Update-June-2023.pdf>
- [6] Touboul PJ, Hennerici MG, Meairs S et al. Mannheim intima-media thickness consensus. *Cerebrovasc Dis* 2004; 18: 346–349. doi:10.1159/000081812
- [7] Schminke U, Allendörfer J. Intima-Media-Dicke und Atherosklerotische Plaques. *Klin Neurophysiol* 2023; 54: 87–98. doi:10.1055/a-1974-6585
- [8] Gray-Weale AC, Graham JC, Burnett JR et al. Carotid artery atheroma: comparison of preoperative B-mode ultrasound appearance with carotid endarterectomy specimen pathology. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 1988; 29: 676–681
- [9] Perren F, Poggia D, Landis T et al. Vertebral artery hypoplasia: a predisposing factor for posterior circulation stroke? *Neurology* 2007; 68: 65–67. doi:10.1212/01.wnl.0000250258.76706.98
- [10] Katsanos AH, Giannopoulos S. Increased risk for posterior circulation ischaemia in patients with vertebral artery hypoplasia: A systematic review and meta-analysis. *Eur Stroke J* 2017; 2: 171–177. doi:10.1177/2396987317700540
- [11] S3-Leitlinie zur Diagnostik, Therapie und Nachsorge der extracraniellen Carotisstenose. 2023. Im Internet (Stand: 18.04.2023): <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/004-028.html>
- [12] Naylor R, Rantner B, Ancetti S et al. Editor's Choice – European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2023 Clinical Practice Guidelines on the Management of Atherosclerotic Carotid and Vertebral Artery Disease. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2023; 65: 7–111. doi:10.1016/j.ejvs.2022.04.011

- [13] Saba L, Saam T, Jager HR et al. Imaging biomarkers of vulnerable carotid plaques for stroke risk prediction and their potential clinical implications. *Lancet Neurol* 2019; 18: 559–572. doi:10.1016/S1474-4422(19)30035-3
- [14] Aboyans V, Ricco JB, Bartelink MEL et al. 2017 ESC Guidelines on the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases, in collaboration with the European Society for Vascular Surgery (ESVS): Document covering atherosclerotic disease of extracranial carotid and vertebral, mesenteric, renal, upper and lower extremity arteries Endorsed by: the European Stroke Organization (ESO) The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Peripheral Arterial Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) and of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur Heart J* 2018; 39: 763–816. doi:10.1093/eurheartj/ehx095
- [15] Grant EG, Benson CB, Moneta GL et al. Carotid artery stenosis: gray-scale and Doppler US diagnosis – Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference. *Radiology* 2003; 229: 340–346. doi:10.1148/radiol.2292030516
- [16] Arning C, Widder B, von Reutern GM et al. [Revision of DEGUM ultrasound criteria for grading internal carotid artery stenoses and transfer to NASCET measurement]. *Ultraschall Med* 2010; 31: 251–257. doi:10.1055/s-0029-1245336
- [17] Gornik HL, Rundek T, Gardener H et al. Optimization of duplex velocity criteria for diagnosis of internal carotid artery (ICA) stenosis: A report of the Intersocietal Accreditation Commission (IAC) Vascular Testing Division Carotid Diagnostic Criteria Committee. *Vasc Med* 2021; 26: 515–525. doi:10.1177/1358863X211011253
- [18] Spencer MP, Reid JM. Quantitation of carotid stenosis with continuous-wave (C-W) Doppler ultrasound. *Stroke* 1979; 10: 326–330. doi:10.1161/01.str.10.3.326
- [19] von Reutern GM, Goertler MW, Bornstein NM et al. Grading carotid stenosis using ultrasonic methods. *Stroke* 2012; 43: 916–921. doi:10.1161/STROKEAHA.111.636084
- [20] Barlinn K, Rickmann H, Kitzler H et al. Validation of Multiparametric Ultrasonography Criteria with Digital Subtraction Angiography in Carotid Artery Disease: A Prospective Multicenter Study. *Ultraschall Med* 2018; 39: 535–543. doi:10.1055/s-0043-119355
- [21] Winzer S, Rickmann H, Kitzler H et al. Ultrasonography Grading of Internal Carotid Artery Disease: Multiparametric German Society of Ultrasound in Medicine (DEGUM) versus Society of Radiologists in Ultrasound (SRU) Consensus Criteria. *Ultraschall Med* 2022; 43: 608–613. doi:10.1055/a-1487-5941
- [22] von Reutern GM, Perren F, Alpsoy I et al. Poststenotic Distal Caliber Reduction Predicts Very High-Grade Proximal Internal Carotid Artery Stenosis. *Ultraschall Med* 2022. doi:10.1055/a-1798-0094
- [23] Bonati LH, Kakkos S, Berkefeld J et al. European Stroke Organisation guideline on endarterectomy and stenting for carotid artery stenosis. *Eur Stroke J* 2021; 6: I–XLVII. doi:10.1177/23969873211012121
- [24] Reiff T, Eckstein HH, Mansmann U et al. Contralateral Stenosis and Echolucent Plaque Morphology are Associated with Elevated Stroke Risk in Patients Treated with Asymptomatic Carotid Artery Stenosis within a Controlled Clinical Trial (SPACE-2). *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2021; 30: 105940. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2021.105940
- [25] van Dam-Nolen DHK, Truijman MTB, van der Kolk AG et al. Carotid Plaque Characteristics Predict Recurrent Ischemic Stroke and TIA: The PARISK (Plaque At RISK) Study. *JACC Cardiovasc Imaging* 2022; 15: 1715–1726. doi:10.1016/j.jcmg.2022.04.003
- [26] Reinhard M, Schwarzer G, Briel M et al. Cerebrovascular reactivity predicts stroke in high-grade carotid artery disease. *Neurology* 2014; 83: 1424–1431. doi:10.1212/WNL.0000000000000888
- [27] Chiba T, Fujiwara S, Oura K et al. Superb Microvascular Imaging Ultrasound for Cervical Carotid Artery Stenosis for Prediction of the Development of Microembolic Signals on Transcranial Doppler during Carotid Exposure in Endarterectomy. *Cerebrovasc Dis Extra* 2021; 11: 61–68. doi:10.1159/000516426
- [28] Li Y, Zheng S, Zhang J et al. Advance ultrasound techniques for the assessment of plaque vulnerability in symptomatic and asymptomatic carotid stenosis: a multimodal ultrasound study. *Cardiovasc Diagn Ther* 2021; 11: 28–38. doi:10.21037/cdt-20-876
- [29] Naslund U, Ng N, Lundgren A et al. Visualization of asymptomatic atherosclerotic disease for optimum cardiovascular prevention (VIPVIZA): a pragmatic, open-label, randomised controlled trial. *Lancet* 2019; 393: 133–142. doi:10.1016/S0140-6736(18)32818-6
- [30] Arning C. Ultrasound Criteria for Diagnosing Spontaneous Cervical Artery Dissections. *Ultraschall Med* 2023. doi:10.1055/a-2004-4986
- [31] Stanziale SF, Wholey MH, Boules TN et al. Determining instant stenosis of carotid arteries by duplex ultrasound criteria. *J Endovasc Ther* 2005; 12: 346–353. doi:10.1583/04-1527.1
- [32] Uphaus T, Gröschel K. [Duplex Sonography of the Brain-Supplying Arteries – Pitfalls]. *Klin Neurophysiol* 2018; 49: 85–96. doi:10.1055/s-0043-122890
- [33] Pohlmann C, Urban PP, Bruning R et al. [Potenzial errors in vascular patients due to anatomical variants of the ascending pharyngeal artery]. *Nervenarzt* 2018; 89: 460–462. doi:10.1007/s00115-016-0166-1

CME-Questions

Question 1

Which transducers are best suited for the examination of the extracranial carotid and vertebral arteries?

- A Convex transducers with upper frequency of 4–6 MHz
- B Phased array transducers with upper frequency of 2–4 MHz
- C Linear transducers with upper frequency of 5–10 MHz
- D Linear transducers with upper frequency of 16–18 MHz
- E Convex transducers with upper frequency of 18–20 MHz

Question 2

Which statement about the documentation of the ultrasound examination is false?

- A In color-coded duplex ultrasound, the vessel is imaged by means of color coding and simultaneously a Doppler spectrum derived from this.
- B Doppler sonography requires video documentation with audio signal.
- C Documentation in a second plane is often useful for documenting pathological findings.
- D All findings should be understandable based on the image and curve documentation.
- E Color-coded duplex ultrasound should show the angle correction on the image.

Question 3

Which statement about the duplex ultrasound of subclavian artery is correct?

- A The subclavian artery normally exhibits a triphasic flow spectrum.
- B The subclavian artery usually has a high end-diastolic flow rate.
- C To identify the subclavian artery, rhythmic pressure is applied to the superficial temporal artery.
- D Stenosis distal to the origin of the vertebral artery results in subclavian steal syndrome.
- E The use of a Doppler pencil probe is not useful because of the overlap by the subclavian vein.

Question 4

Which statement regarding the measurement of intima-media thickness (IMT) is correct?

- A The common carotid artery is imaged using a sector transducer to image as long a segment of the artery as possible.
- B IMT measurement should preferably be performed on the near wall, because here the measurement is less affected by B-scan enhancement.
- C The measurements can be performed semi-automatically using edge tracking software or manually using the distance measurement function of the ultrasonic machine.
- D The measurement should include at least one atherosclerotic plaque.
- E In healthy individuals, age and gender have no influence on IMT.

Question 5

Which statement about specifics of stenosis grading in the internal carotid artery is false?

- A In stenoses <50 %, there is a close correlation between peak systolic velocity and the degree of stenosis in 10 % increments.
- B Calcified plaques with acoustic shadowing may make valid angle-corrected flow measurement impossible.
- C In the presence of contralateral occlusion of the internal carotid artery, higher maximum systolic flow velocities must be considered in stenosis grading.
- D Stenoses within a stent may have higher peak systolic flow velocities than “normal” stenosis.
- E Short stenoses result in a higher peak systolic flow velocity than long stenoses.

Question 6

Which statement on examination of the vertebral artery is false?

- A The acoustic shadowing artifacts of the bony transverse processes of the cervical vertebrae serve as the anatomical guide structure.
- B For optimal display, the focus should be adjusted to the appropriate penetration depth and the pulse repetition frequency (PRF) should be adjusted to lower flow velocities.
- C The origin of the vertebral artery from the subclavian artery is a predisposition site for stenosis.
- D Criteria for stenosis at the branch of the vertebral artery are peak systolic flow velocities >240 cm/s.
- E Hypoplasia of the vertebral artery is present when the diameter is less than 2.5 mm.

► Additional questions on the next page...

CME Questions

Question 7

What is the predisposition site for vertebral artery dissections?

- A The V2 segment between the transverse processes of the cervical vertebrae.
- B The origin of the vertebral artery from the subclavian artery.
- C The atlas loop (V3 segment).
- D The V1 segment immediately below the transverse segment of C6.
- E The brachiocephalic trunk, from which dissections continue into the vertebral artery

Question 8

Which statement about subclavian steal syndrome of the vertebral artery is *false*?

- A In the Doppler spectrum of the vertebral artery, a systolic slowing of the flow profile may occur.
- B The Doppler spectrum of the vertebral artery may show alternating flow.
- C Retrograde flow may occur in the vertebral artery.
- D The Doppler spectrum of the vertebral artery shows increased pulsatility with high peak systolic velocities and low end-diastolic velocity.
- E Using the upper arm compression test, reactive hyperemia of the arm leads to an increase in the steal phenomenon.

Question 9

Duplex ultrasound detects the following findings at the branch of the internal carotid artery: Peak systolic velocity at stenosis maximum 315 cm/s, maximum end-diastolic velocity at stenosis maximum 118 cm/s, peak systolic velocity poststenotic 60 cm/s. What is the most likely degree of stenosis according to NASCET criteria?

- A 40 %
- B 50 %
- C 60 %
- D 70 %
- E 80 %

Question 10

Which statement regarding the graduation of stenoses of the internal carotid artery is *correct*?

- A 20–40 % stenoses have peak systolic velocities > 200 cm/s at the stenosis maximum.
- B Collateralization via the periorbital arteries or via the ramus communicans anterior occurs only in cases of complete occlusion of the internal carotid artery.
- C End-diastolic velocities in the stenosis maximum > 100 cm/s are seen in stenoses of at least 70 %.
- D Confetti sign is already detectable in mild stenosis of 20–40 % in the color-coded duplex image.
- E 50 % stenoses already show reduced post-stenotic peak systolic velocities < 50 cm/s.

Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist in der Regel 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Unter <https://eref.thieme.de/CXMFC77> oder über den QR-Code kommen Sie direkt zur Startseite des Wissenstests und zum Artikel. Sie finden dort auch den genauen Einsendeschluss. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter <https://cme.thieme.de/hilfe> eine ausführliche Anleitung.

Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

VNR 2760512024165721695



Frage 1

Welche Schallköpfe sind für die Untersuchung der extrakraniellen A. carotis und der A. vertebralis am besten geeignet?

- A Sektor-Schallköpfe mit einer oberen Sendefrequenz von 4–6 MHz
- B Phased-Array-Schallköpfe mit einer oberen Sendefrequenz von 2–4 MHz
- C Linear-Schallköpfe mit einer oberen Sendefrequenz von 5–10 MHz
- D Linear-Schallköpfe mit einer oberen Sendefrequenz von 16–18 MHz
- E Sektor-Schallköpfe mit einer oberen Sendefrequenz von 18–20 MHz

Frage 2

Welche Aussage zur Dokumentation der Ultraschalluntersuchung ist falsch?

- A Bei der farbkodierten Duplexsonografie wird das Gefäß mittels Farbkodierung und einem gleichzeitig hieraus abgeleiteten Dopplerspektrum abgebildet.
- B Bei der Dopplersonografie ist eine Videodokumentation mit Audiosignal erforderlich.
- C Zur Dokumentation pathologischer Befunde ist häufig eine Dokumentation in einer zweiten Ebene sinnvoll.
- D Alle Befunde sollten anhand der Bild- und Kurvendokumentation nachvollziehbar sein.
- E Bei der farbkodierten Duplexsonografie sollte die Winkelkorrektur auf dem Bild angezeigt sein.

Frage 3

Welche Aussage zur Duplexsonografie der A. subclavia ist richtig?

- A Die A. subclavia weist im Normalfall ein triphasisches Strömungsspektrum auf.
- B Die A. subclavia weist im Normalfall eine hohe enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit auf.
- C Zur Identifizierung der A. subclavia erfolgt eine rhythmische Druckbewegung auf die A. temporalis superficialis.
- D Stenosierungen distal des Abgangs der A. vertebralis führen zu einem Subclavian-Steal-Syndrom.
- E Die Verwendung einer Doppler-Stiftsonde ist wegen der Überlagerung durch die Vena subclavia nicht sinnvoll.

Frage 4

Welche Aussage zur Messung der Intima-Media-Dicke (IMT) ist richtig?

- A Die Darstellung der A. carotis communis erfolgt mit einem Sektor-Schallkopf, um ein möglichst langes Segment der Arterie darzustellen.
- B Die IMT-Messung sollte bevorzugt an der sondennahen Wand der Arterie erfolgen, weil hier die Messung durch die B-Bild-Verstärkung weniger stark beeinflusst wird.
- C Die Messung kann semiautomatisch unter Verwendung einer Grenzflächen-Erkennungssoftware oder manuell mit der Distanzmessfunktion des Ultraschallgerätes erfolgen.
- D Die Messung sollte mindestens eine atherosklerotische Plaque einschließen.
- E Bei Gesunden haben Alter und Geschlecht keinen Einfluss auf die IMT.

Frage 5

Welche Aussage zu Besonderheiten der Stenose-Graduierung der A. carotis interna ist falsch?

- A Bei Stenosen < 50 % besteht eine enge Korrelation zwischen der maximalen systolischen Geschwindigkeit und dem Grad der Stenose in 10 %-Schritten.
- B Kalzifizierte Plaques mit einer Schallauslöschung können eine valide winkelkorrigierte Strömungsmessung unmöglich machen.
- C Bei einem kontralateralen Verschluss der A. carotis interna müssen bei der Stenose-Graduierung höhere maximale systolische Strömungsgeschwindigkeiten berücksichtigt werden.
- D Bei Stenosierungen innerhalb eines Stents können höhere maximale systolische Strömungsgeschwindigkeiten auftreten als bei einer „normalen“ Stenose.
- E Kurzstreckige Stenosen führen zu einer höheren maximalen systolischen Strömungsgeschwindigkeit als langstreckigere Stenosen.

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite...

Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Frage 6

Welche Aussage zur Untersuchung der A. vertebralis ist falsch?

- A Als anatomische Leitstruktur dienen die Schallauslöschungsfaktoren der knöchernen Transversalfortsätze der Halswirbel.
- B Zur optimalen Darstellung sollte der Fokus auf die entsprechende Eindringtiefe und die Pulsrepetitionsfrequenz (PRF) auf niedrigere Strömungsgeschwindigkeiten angepasst werden.
- C Der Abgangsbereich der A. vertebralis aus der A. subclavia ist eine Prädisloktionsstelle für Stenosen.
- D Als Kriterium einer Stenose am Abgang der A. vertebralis gelten maximale systolische Strömungsgeschwindigkeiten >240 cm/s.
- E Eine Hypoplasie der Arteria vertebralis liegt bei einem Durchmesser kleiner als 2,5 mm vor.

Frage 7

Was ist die Prädisloktionsstelle für Dissektionen der A. vertebralis?

- A Das V2-Segment zwischen den Transversalfortsätzen der Halswirbelkörper
- B Der Abgang der A. vertebralis aus der A. subclavia
- C Die Atlasschlinge (V3-Segment)
- D Das V1-Segment unmittelbar unterhalb des Transversalfortsatzes von HWK 6
- E Der Truncus brachiocephalicus, von dem sich Dissektionen bis in die A. vertebralis fortsetzen

Frage 8

Welche Aussage zum Subclavian-Steal-Syndrom der A. vertebralis ist falsch?

- A Im Dopplerspektrum der A. vertebralis kann eine systolische Entschleunigung des Strömungsprofils auftreten.
- B Das Dopplerspektrum der A. vertebralis kann einen Pendelfluss aufweisen.
- C In der A. vertebralis kann es zu einer retrograden Strömung kommen.
- D Das Dopplerspektrum der A. vertebralis weist eine erhöhte Pulsatilität mit hohen maximalen systolischen Strömungsgeschwindigkeiten und niedrigen enddiastolischen Strömungsgeschwindigkeiten auf.
- E Mittels Oberarm-Kompressionstest führt eine reaktive Hyperämie des Armes zu einer Verstärkung des Steal-Phänomens.

Frage 9

Mittels Duplexsonografie wird am Abgang der Arteria carotis interna folgender Befund erhoben: Maximale systolische Strömungsgeschwindigkeit im Stenosemaximum 315 cm/s, maximale enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit im Stenosemaximum 118 cm/s, maximale systolische Strömungsgeschwindigkeit poststenotisch 60 cm/s. Welcher Stenosegrad nach NASCET-Kriterien liegt am ehesten vor?

- A 40 %
- B 50 %
- C 60 %
- D 70 %
- E 80 %

Frage 10

Welche Aussage zur Graduierung von Stenosen der A. carotis interna ist richtig?

- A 20–40 %ige Stenosen weisen im Stenosemaximum maximale systolische Strömungsgeschwindigkeiten >200 cm/s auf.
- B Eine Kollateralisation über die Periorbitalarterien oder über den Ramus communicans anterior kommt nur bei einem kompletten Verschluss der A. carotis interna vor.
- C Enddiastolische Strömungsgeschwindigkeiten im Stenosemaximum >100 cm/s werden bei Stenosen von mindestens 70 % gesehen.
- D Ein Konfetti-Zeichen ist bereits bei leichtgradigen Stenosen von 20–40 % im farbkodierten Duplexbild nachweisbar.
- E 50 %ige Stenosen weisen poststenotisch bereits verminderte maximale systolische Strömungsgeschwindigkeiten <50 cm/s auf.

Continuing Medical Education (CME) – important note for readers outside Austria, Germany and Switzerland

At present, certification of the Continuing Medical Education features in Ultraschall in der Medizin/European Journal of Ultrasound (UIM/EJU) is officially recognised by the German and Austrian medical associations and by the Swiss Ultrasound Society. Participants residing in other countries may please address their national medical association or their national specialist society for recognition of their CME scores.

Participation is possible via internet under <http://cme.thieme.com>. For one Continuing Medical Education unit you will be credited with 3 score points. To be awarded this score, 70% of the questions must have been answered correctly. The CME unit in the present issue is available online for 12 months for CME participation.

CME participation for this article can be done online under <http://cme.thieme.com>.

CME-Fortbildung mit Ultraschall in der Medizin

Für Teilnehmer in Deutschland

Die Fortbildung in Ultraschall in der Medizin wurde von der Nordrheinischen Akademie für Ärztliche Fort- und Weiterbildung für das Fortbildungszertifikat anerkannt, das heißt, die Vergabe der Punkte kann direkt durch die Thieme Verlagsgruppe erfolgen. Die Fortbildung in Ultraschall in der Medizin gehört zur Kategorie „strukturierte interaktive Fortbildung“. Entsprechend einer Absprache der Ärztekammern werden die von der Nordrheinischen Akademie für Ärztliche Fort- und Weiterbildung anerkannten Fortbildungsveranstaltungen auch von den anderen zertifizierenden Ärztekammern anerkannt.

Für Teilnehmer in Österreich

Die Fortbildungspunkte der Ultraschall in der Medizin werden gemäß der Novellierung der DFP-

Richtlinien vom 23.6.2005 (§26 Abs. 3) auch von den österreichischen Ärztekammern anerkannt.

Für Teilnehmer in der Schweiz

Die Fortbildungspunkte der Ultraschall in der Medizin werden gemäß der Richtlinien der SGUM im Rahmen der 15 Credits für das Selbststudium anerkannt. Die Kontrolle der Fortbildung durch die SGUM/SSUM erfolgt im Auftrag der FMH (Federation Medicorum Helveticorum) im Rahmen der Fortbildungsordnung.

Datenschutz

Ihre Daten werden ausschließlich für die Bearbeitung dieser Fortbildungseinheit verwendet. Es erfolgt keine Speicherung der Ergebnisse über die für die Bearbeitung der Fortbildungseinheit notwendige Zeit hinaus. Die Daten werden nach Versand der Testate anonymisiert. Namens- und Adressangaben dienen nur dem Versand der Testate. Die Angaben zur Person dienen nur statistischen Zwecken und werden von den Adressangaben getrennt and anonymisiert verarbeitet.

Teilnahme

Jede Ärztin und jeder Arzt soll das Fortbildungszertifikat erlangen können. Deshalb ist die Teilnahme am CME-Programm von Ultraschall in der Medizin nicht an ein Abonnement geknüpft! Die Teilnahme ist im Internet unter <http://cme.thieme.de> möglich. Im Internet muss man sich registrieren, wobei die Teilnahme an Fortbildungen abonnierter Zeitschriften ohne Zusatzkosten möglich ist. Die Fortbildungseinheit in diesem Heft ist 12 Monate online für eine CME-Teilnahme verfügbar.

Teilnahmebedingungen

Für eine Fortbildungseinheit erhalten Sie 3 Fortbildungspunkte im Rahmen des Fortbildungszertifikats. Hierfür müssen 70% der Fragen richtig beantwortet sein.

CME-Fortbildung für Nicht-Abonnenten

Teilnehmer, die nicht Abonnenten von Ultraschall in der Medizin sind, können für die Internet-Teilnahme dort direkt ein Guthaben einrichten, von dem pro Teilnahme ein Unkostenbeitrag abgebucht wird.

Die CME-Teilnahme für diesen Beitrag ist online möglich unter <http://cme.thieme.de>.

CME.thieme.de

CME-Teilnahme

- ▶ Viel Erfolg bei Ihrer CME-Teilnahme unter <http://cme.thieme.de>
- ▶ Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate online für eine CME-Teilnahme verfügbar.
- ▶ Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, unter <http://cme.thieme.de/hilfe> finden Sie eine ausführliche Anleitung.