






# Ultrasound assessment of brain supplying arteries (transcranial)



## Authors

Klaus Gröschel<sup>1</sup> , Judith U. Harrer<sup>2, 3</sup> , Ulf Schminke<sup>4</sup> ,  
Emilia Stegemann<sup>5, 6</sup> , Jens Allendörfer<sup>7</sup> 

## Affiliations

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

## Bibliography

Ultraschall in Med 2023; 44: 468–486  
published online 2023

DOI 10.1055/a-2103-4981

ISSN 0172-4614

© 2023. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,  
70469 Stuttgart, Germany

## ABSTRACT

Ultrasonography of intracranial arteries is a non-invasive and highly efficient method for the diagnosis and follow-up of patients with cerebrovascular diseases, also in the bedside setting of the critically ill. For reliable assessment and interpretation of sonographic findings, the technique requires – apart from dedicated anatomic and pathophysiological knowledge of cerebral arteries and their hemodynamics – the comprehension of alternative imaging modalities such as CT or MR angiography. This article reviews the transcranial color-coded duplex sonographic (TCCS) examination technique including the transcranial Doppler sonography (TCD) for a standardized ultrasound assessment of the intracranial arteries and typical pathological cases. As a complementary tool, transorbital ultrasound for the assessment of the optic nerve sheath diameter and adjacent structures is also described in this article.

Transcranial ultrasound examination is a standard technique in neurovascular medicine, not least because of its bedside and noninvasive application. Due to the much broader availability of high-quality ultrasound devices with integrated color duplex ultrasound and Doppler sonography, pure Doppler sonography of the brain-supplying arteries hardly plays any role in daily routine today. Transcranial Doppler sonography (TCD) has specific value in bedside diagnosis, especially in intensive care patients, or as a supplement to special examination modalities discussed in the text. The collection and interpretation of intracranial vascular findings requires profound anatomical and pathophysiological knowledge of cerebral structures. A sufficiently long training period under supervision, as well as dedicated knowledge of the alternative imaging methods, is a prerequisite for a valid image interpretation, especially if the method is used for follow-up. The examination of extracranial vessels is described in detail in an accompanying article [1]; for didactic reasons, transorbital ultrasound is also discussed in this article. Notes for basic documentation can be found in the article on extracranial

vascular imaging [1]; in summarized form, the recommendations can be found in ► **Table 1**; reference is made to the current standard literature and recommendations of professional societies [2–5].

## Transorbital examination and orbital sonography

In the case of severe stenosis or occlusion of the internal carotid artery (ICA), a collateral circulation via anastomosis between the external carotid artery (ECA) and the ophthalmic artery can be detected by examining the supratrochlear artery at the medial angle of the eye. The intracranial and extracranial arteries are connected via the supratrochlear artery. In a normal case (antegrade, orthograde direction of flow), blood flow increases in direction towards the probe when the extracranial vascular stems of ECA (superficial temporal artery, facial artery) are compressed (i. e., the extracranial pressure is reduced, and the physiological flow balance increases from intracranial to

# Die Ultraschalluntersuchung der hirnversorgenden Arterien (transkraniall)



## Autorinnen/Autoren

Klaus Gröschel<sup>1</sup>, Judith U. Harrer<sup>2, 3</sup>, Ulf Schminke<sup>4</sup>,  
Emilia Stegemann<sup>5, 6</sup>, Jens Allendorfer<sup>7</sup>

## Institute

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

## Bibliografie

Ultraschall in Med 2023; 44: 468–486

published online 2023

DOI 10.1055/a-2103-4981

ISSN 0172-4614

© 2023. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,  
70469 Stuttgart, Germany

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Sonografie der intrakraniellen Arterien ist eine nicht invasive und effektive Methode für die Diagnostik und Nachuntersuchung von Patienten mit zerebrovaskulären Erkrankungen, die auch als bettseitige Untersuchungsmethode auf der Schlaganfall- bzw. Intensivstation ihre Anwendung findet. Um eine verlässliche Untersuchung und Interpretation der sonografischen Befunde zu gewährleisten, ist – neben einer guten anatomischen und pathophysiologischen Kenntnis der hämodynamischen Zusammenhänge hirnversorgender Gefäße und deren Kollateralkreisläufe – auch eine erweiterte Kenntnis anderer bildgebender Modalitäten, wie z. B. der CT- oder MR-Angiografie, notwendig. Der vorliegende Artikel beschreibt die standardmäßige notwendige Untersuchungstechnik der transkranialen farbkodierten Duplex- (TCCS) und Dopplersonografie (TCD) in der Darstellung intrakranieller Arterien sowie typische pathologische Fallkonstellationen. Als ergänzende Untersuchungsmethode wird die transorbitale Ultraschalluntersuchung, u. a. für die Bestimmung des Optikusnerv-Scheidendurchmessers und angrenzender Strukturen mit beschrieben.

Die transkraniale Ultraschalluntersuchung gehört zu den Standardtechniken in der neurovaskulären Medizin, nicht zuletzt wegen ihrer bettseitigen und nicht invasiven Anwendbarkeit. Aufgrund einer deutlich breiteren Verfügbarkeit hochwertiger Ultraschallgeräte mit integrierter Farbduplexsonografie und Dopplersonografie spielt die reine Dopplersonografie der hirnversorgenden Arterien heute in der täglichen Routine kaum noch eine Rolle. Die transkraniale Dopplersonographie (TCD) hat ihren Stellenwert in der bettseitigen Diagnostik, insbesondere bei Intensivpatienten oder als Ergänzung zu speziellen Untersuchungsmodalitäten, auf die im Text eingegangen wird. Die Erhebung und Interpretation intrakranieller Gefäßbefunde setzen gute anatomische und pathophysiologische Kenntnisse zerebraler Strukturen voraus. Eine ausreichend lange Einarbeitung unter Anleitung sowie eine dezidierte Kenntnis der alternativen bildgebenden Verfahren sind Voraussetzung für eine valide Bildinterpretation, insbesondere, wenn das Verfahren zur Verlaufskontrolle verwendet wird.

Die Untersuchung der extrakraniellen Gefäße wird detailliert in einem anderen Artikel dargestellt [1]; aus didaktischen Gründen wird der transorbitale Ultraschall im vorliegenden Artikel mitbehandelt. Hinweise für die Basisdokumentation finden sich in dem Artikel zur extrakraniellen Gefäßdarstellung [1], – in Kurzform können die Empfehlungen in der ► **Tab. 1** eingesehen werden, zudem wird auf die gängige Standardliteratur und die Empfehlungen der Fachgesellschaften verwiesen [2–5].

## Untersuchungsgang transorbital und Orbitasonografie

Bei hochgradigen Stenosen oder Verschlüssen der A. carotis interna (ACI) kann ein Kollateralkreislauf über die Anastomose zwischen A. carotis externa (ACE) und A. ophthalmica durch die Untersuchung der A. supra-trochlearis im medialen Augenwinkel nachgewiesen werden. Über die A. supra-trochlearis besteht eine Verbindung zwischen den intra-

► **Table 1** Recommendations for Basic Documentation.

	Doppler sonography	Duplex ultrasound/B-mode imaging
Ophthalmic artery (terminal branch)	Supratrochlear artery; compression test	Ophthalmic artery, transorbital insonation
<b>Orbital</b>		
		Central retinal artery
		Optic nerve sheath diameter
		Papilledema (Optical disc elevation)
		Spot sign
<b>Transtemporal</b>		
Middle cerebral artery	M1 at 45–55 mm	Color-coded axial section with Doppler spectrum M1 section
Anterior cerebral artery	A1 at 70–75 mm	Color-coded axial section with Doppler spectrum A1 section
Carotid artery T	–	Color-coded coronary section with Doppler spectrum of the internal carotid artery
Posterior cerebral artery	P1 or P2 at 65–75 mm	Color-coded axial section with Doppler spectrum P1 section
Basilar artery	–	Color-coded coronary section with Doppler spectrum of the basilar artery
<b>Transtemporal and transnuchal</b>		
Vertebral artery	65–75 mm	Color-coded depiction of the vertebral-basilar junction (“vertebrobasilar Y”) with Doppler spectrum of the vertebral and basilar arteries
Basilar artery	As far cranially as possible	

extracranial). In the case of an obstruction of the extracranial blood supply due to high-grade stenosis or occlusion of the internal carotid artery, the drainage of the supratrochlear artery may show near-zero flow or even retrograde flow (flow from extracranial to intracranial), which characteristically decreases after compression of an extracranial branch (= pressure extracranial is reduced, pathological retrograde flow from extracranial to intracranial decreases) or reverses. Examination of the supratrochlear artery at the medial angle of the eye is most easily achieved by continuous wave (cw) Doppler sonography using an 8 MHz pencil probe. Collateralization via the external ophthalmic anastomosis can also be diagnosed by demonstrating a retrograde flow direction in the ophthalmic artery with color-coded duplex sonography, whereby the ophthalmic artery is depicted with color flow imaging via the transorbital sound window with a duplex 7.5-MHz linear or 2.5-MHz sector transducer after reducing the transmission power (mechanical index  $\leq 0.2$  in B-mode). Examination of the patient is done in a supine position; the orbita is scanned through the closed eyelid with a sufficient lot of contact gel, if possible without pressure from the probe (► Fig. 1). The ALARA principle applies: “as low as reasonably achievable”. This is achieved by setting the transmitting power as low as possible (even when the duplex mode is turned on) and increasing the gain settings. A default preset helps not to overlook this.

#### Caution

When setting the device, care must be taken to keep the mechanical index ( $\leq 0.2$ ) as low as possible to avoid potentially conceivable damage to the lens and retina.

#### Note

Typical questions of orbital sonography are the assessment of papilledema, a possible increase in intracranial pressure with determination of the optic nerve sheath diameter (ONSD), and the recording of the Doppler spectrum and the flow velocities of the central retinal artery.

To determine the ONSD, the probe is placed slightly laterally and scanned medially. To avoid eyeball movement, the patient can fixate on a virtual point with the eyes closed. In order to avoid any confusion regarding the correct side in the documentation, a uniform labeling and documentation form should be established by the laboratory; a uniform convention has not yet been established. The standard values and exact measurement points for the determination of ONSD vary somewhat between laboratories; a uniform convention is being developed by both DEGUM and an international consortium [6]. A width of  $5.4 \pm 0.5$  mm, measured 3 mm behind the retinal plane, can be used as a guiding standard value [7].

► **Tab. 1** Empfehlungen zur Basisdokumentation.

	Dopplersonografie	Duplexsonografie/B-Bild
A. ophthalmica (Endäste)	A. supratrochlearis; Kompressionstest	A. ophthalmica, transorbitale Beschallung
<b>Orbital</b>		
		A. centralis retinae
		Durchmesser der Opticusnervscheiden
		Stauungspapille („optical disc elevation“)
		Spot-sign
<b>Transtemporal</b>		
A. cerebri media	M1 bei 45–55 mm	farbkodierter Axialschnitt mit Dopplerspektrum M1-Abschnitt
A. cerebri anterior	A1 bei 70–75 mm	farbkodierter Axialschnitt mit Dopplerspektrum A1-Abschnitt
Karotis-T	–	farbkodierter Koronarschnitt mit Dopplerspektrum A. carotis interna
A. cerebri posterior	P1 bzw. P2 bei 65–75 mm	farbkodierter Axialschnitt mit Dopplerspektrum P1-Abschnitt
A. basilaris	–	farbkodierter Koronarschnitt mit Dopplerspektrum A. basilaris
<b>Transtemporal und -nuchal</b>		
A. vertebralis	65–75 mm	farbkodierte Darstellung des Vertebralis-Basilaris-Übergangs („vertebrobasiläres Y“) mit Dopplerspektrum der Aa. vertebrales und A. basilaris
A. basilaris	möglichst weit kranial	

und extrakraniellen Arterien. Im Normalfall (antegrade, orthograde Strömungsrichtung) nimmt bei Kompression der extrakraniellen Gefäßäste der ACE (A. temporalis superficialis, A. facialis) der Blutfluss auf die Sonde hin zu (= der Druck extrakraniell wird reduziert, es erfolgt eine Zunahme des physiologischen Strömungsgleichgewichtes von intranach extrakraniell). Bei einem vorgeschalteten Strömungshindernis der intrakraniellen Blutversorgung aufgrund einer hochgradigen Stenose oder eines Verschlusses der A. carotis interna kann sich in der Ableitung der A. supratrochlearis ein annähernder Nullfluss oder sogar eine retrograde Strömung (Strömung von extra- nach intrakraniell) zeigen, die charakteristischerweise nach Kompression eines extrakraniellen Astes abnimmt (= Druck extrakraniell wird reduziert, Abnahme der pathologischen retrograden Strömung von extra- nach intrakraniell) oder sich umkehrt. Die Untersuchung der A. supratrochlearis im medialen Augenwinkel gelingt am einfachsten mittels Continuous-wave- Dopplersonografie (auch CW-Dopplersonografie) unter Verwendung einer 8-MHz-Stiftsonde. Eine Kollateralisation über die Externa-Ophthalmica-Anastomose kann auch durch den Nachweis einer retrograden Strömungsrichtung in der A. ophthalmica diagnostiziert werden, wobei hierzu die A. ophthalmica über das transorbitale Schallfenster mit einem 7,5-MHz-Duplex-Linear- oder 2,5-MHz-Sektorschallkopf nach Reduktion der Sendeleistung (Mechanischer Index  $\leq 0,2$  im B-Mode) farbkodiert dargestellt wird. Die Un-

tersuchung des Patienten findet in einer liegenden Position statt, es wird durch das geschlossene Lid mit ausreichend Kontaktgel, möglichst ohne Andruck der Sonde, geschallt (► **Abb. 1**). Es gilt das ALARA-Prinzip: „as low as reasonably achievable“. Dies wird durch die Einstellung einer möglichst niedrigen Sendeleistung (auch bei der Hinzuschaltung des Duplex-Modus) und die Erhöhung der Empfangssensitivität realisiert. Ein voreingestelltes Preset hilft, dies nicht zu übersehen.

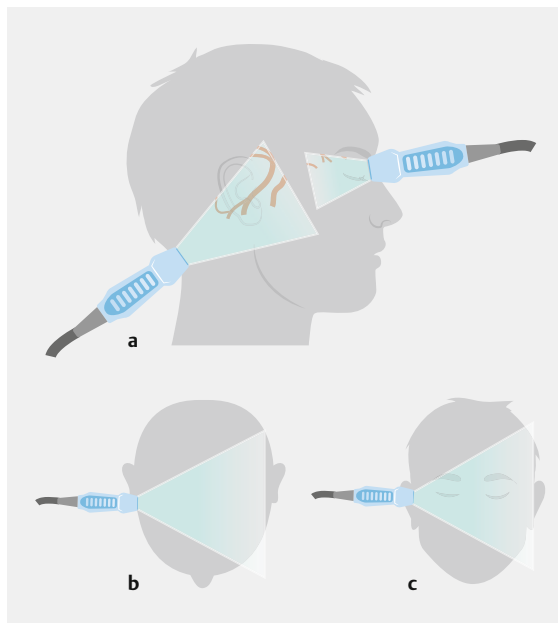
#### ■ Cave

Bei den Geräteeinstellungen muss auf einen möglichst geringen Mechanischen Index ( $\leq 0,2$ ) zur Vermeidung von potenziell denkbaren Schäden an Linse und Retina geachtet werden.

#### ■ Merke

Typische Fragestellungen der Orbitasonografie sind die Einschätzung einer Stauungspapille, einer möglichen intrakraniellen Druckerhöhung mit Bestimmung der Weite der Nervenscheide des N. opticus (ONSD), sowie die Bestimmung des Dopplerspektrums und der Strömungsgeschwindigkeiten der A. centralis retinae.

Für die Bestimmung des ONSD wird die Sonde leicht lateral angesetzt und nach medial geschallt. Um Bulbusbewegungen zu vermeiden, kann der Patient bei geschlossenen



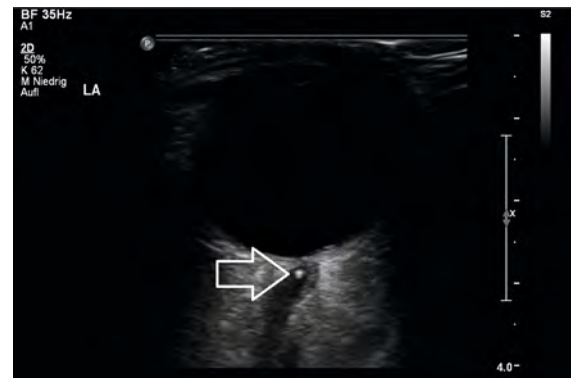
► **Fig. 1** Probe positioning and image plane. **a** Transorbital and transnuchal probe position, **b** axial and **c** coronal transorbital image plane.

► **Abb. 1** Sondenpositionierung und Schnittbildebene. **a** Transorbitale und -nuchale Sondenposition, **b** axiale und **c** koronare transtemporale Schnittbildebene.

Duplex ultrasonography can be used to visualize the retrobulbar central retinal artery; the low flow velocities (standard value:  $10.3 \pm 2$  cm/s) should be taken into account when creating a preset in the sense of a low pulse repetition frequency (PRF). Absence of flow is found, for example, in the case of central retinal artery occlusion. In the acute phase of central retinal artery occlusion, orbital sonography may become more important, as it enables visualization of a distal embolism in the retinal artery in more than half of cases (“spot sign”) that cannot be visualized on normal CT angiography (► **Fig. 2**) [8, 9]. Whether this “spot sign”, may influence therapeutic decision making regarding systemic thrombolysis is currently under investigation. It is suspected that a visualizable, highly echogenic thrombus is likely to correspond to distal embolization of a calcified plaque component and therefore might not respond as effectively to systemic thrombolysis [9]. In contrast to this, absence of a spot sign is more likely to be attributed to a low echogenic embolus, which should respond better to systemic thrombolysis.

## Transcranial examination

In addition to the transorbital access described above, the intracranial vessels are examined via a transtemporal and a transoccipital or transnuchal bone window (► **Fig. 1**) using either a phased-array duplex transducer (usually 2.5 MHz) or a 2 MHz pencil probe. Duplex ultrasonography has be-



► **Fig. 2** Orbital sonography focusing on the retrobulbar region in a 73-year-old patient with acute loss of vision in the left eye. Behind the retinal plane, the width of the nerve sheath of the optic nerve can be determined at a depth of 3 mm (this is only possible to a limited extent in the illustration due to the oblique course of the optic nerve). There is a strongly echogenic signal in the tip of the hypoechoic optic nerve, which may correspond to a calcified embolism of the distal central retinal artery (“spot sign”, arrow).

► **Abb. 2** Orbitasonografie mit Fokus auf die retrobulbäre Region bei einem 73-jährigen Patienten mit akutem Sehverlust auf dem linken Auge. Hinter der retinalen Ebene lässt sich in 3 mm Tiefe die Weite der Sehnervenscheide des N. opticus bestimmen (in der Abbildung wegen des schrägen Verlaufes des N. opticus nur eingeschränkt möglich). Es fällt ein stark echoreiches Signal in der Spitze des echoarmen N. opticus auf, welches einer kalifizierten Embolie der distalen A. centralis retinae entsprechen dürfte („Spot-sign“, Pfeil).

come increasingly established as standard in recent years, as it enables better vessel identification, angle-corrected measurement, and assessment of intracranial structures (parenchyma, ventricle, etc.) [10, 11]. Whether or not to perform angle correction is a topic of controversial debate in the literature. The angle correction should be placed in a straight vessel segment of sufficient length (about 15 mm) in which the main flow vector can be identified. This enables a more valid measurement of flow velocities, as the measurement can be adapted to the vascular course in case of anatomical variations. If correct positioning of the angle correction is not possible, the measurement must be performed without correction and the maximum values of the measured flow velocities are used for the assessment. In the case of insufficient bone windows, the 2 MHz Doppler probe can be used. A smaller footprint of the probe and a narrower ultrasound beam makes it possible to insonate through smaller bone windows, which are too small for the duplex transducer. In case of a still insufficient bone window, sufficient vascular imaging can be achieved with the help of ultrasound contrast enhancing agents (used as an amplifier of the reflected ultrasound).

### Cave

It should be noted that the flow velocities measured with ultrasound contrast enhancing agents are incor-

Augen einen virtuellen Punkt fixieren. Damit einer Seitenverwechslung in der Dokumentation begegnet wird, sollte laborseitig eine einheitliche Beschriftungs- und Dokumentationsform festgelegt werden – eine einheitliche Konvention konnte sich allerdings noch nicht durchsetzen. Die Normwerte und die exakten Messpunkte für die Bestimmung des ONSD variieren laborspezifisch etwas; eine einheitliche Konvention wird sowohl durch die DEGUM als auch durch ein internationales Konsortium derzeit erarbeitet [6]. Als orientierender Normwert kann eine Weite von  $5,4 \pm 0,5$  mm, gemessen 3 mm hinter der retinalen Ebene, verwendet werden [7].

Mittels Duplexsonografie kann im gleichen Untersuchungsgang die A. centralis retinae retrobulbär dargestellt werden; die niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten (Normwert:  $10,3 \pm 2$  cm/s) sollten bei der Erstellung eines voreingestellten Presets im Sinne einer niedrigen Pulsrepetitionsfrequenz (PRF) mitberücksichtigt werden. Ein aufgehobenes Flusssignal findet sich zum Beispiel bei einem Zentralarterienverschluss. In der Akutphase eines Zentralarterienverschlusses könnte die Orbitasonografie an Bedeutung gewinnen, da die Darstellung eines distalen Embolus in der Arterie mit dieser Methode in über der Hälfte der Fälle gelingt („Spot-sign“), während er sich in einer normalen CT-Angiografie nicht darstellen lässt (► **Abb. 2**) [8, 9]. Aktuell wird untersucht, ob in Abhängigkeit vom „Spot-sign“ eine therapeutische Entscheidung bezüglich einer systemischen Lyse-Therapie abgeleitet werden kann. Es wird vermutet, dass ein darstellbarer stark echoreicher Thrombus wahrscheinlich einem nach distal embolisierten kalzifizierten Plaquebestandteil entsprechen dürfte und daher nicht so effektiv auf eine systemische Lysetherapie ansprechen könnte [9]. Im Gegensatz hierzu ist ein nicht darstellbares Spot-sign häufiger einem echoarmen Embolus zuzuschreiben, der besser auf eine systemische Lyse-Therapie ansprechen sollte.

## Untersuchungsgang transkranial

Für die Untersuchung der intrakraniellen Gefäße wird neben dem oben angesprochenen transorbitalen Zugang ein transtemporales und ein transokzipitales bzw. transnuchales Schallfenster genutzt (► **Abb. 1**). Zur Anwendung kommt hier entweder ein Phased-array-Duplex-Schallkopf (i. d. R. 2,5 MHz) oder eine 2-MHz-Stiftsonde. Als Standard hat sich in den letzten Jahren zunehmend die Duplexsonografie etabliert, da mit ihr eine bessere Gefäßidentifikation gelingt und zudem eine winkelkorrigierte Messung sowie eine Beurteilung intrakranieller Strukturen (Parenchym, Ventrikel etc.) erfolgen können [10, 11]. Ob eine Winkelkorrektur vorgenommen werden soll oder nicht, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Die Winkelkorrektur sollte in einem ausreichend langen (ca. 15 mm) und geraden Gefäßsegment platziert wer-

den, in dem der Hauptflussvektor identifiziert werden kann. Hierbei kann eine validere Messung der Flussgeschwindigkeit erfolgen, da durch anatomische Variationen die Messung dem Gefäßverlauf angepasst werden kann. Sollte die korrekte Positionierung der Winkelkorrektur nicht möglich sein, muss die Messung ohne Korrektur erfolgen und es werden die Maximalwerte der gemessenen Flussgeschwindigkeiten für die Beurteilung herangezogen. Bei insuffizientem Schallfenster kann die 2-MHz-Dopplersonde zum Einsatz kommen, da sich hiermit wegen der geringeren Auflagefläche und des schmalen Schallstrahls auch kleine knöcherne Schallfenster nutzen lassen, die für eine Beurteilung mit der Duplexsonde nicht ausreichend sind. Sollte sich kein ausreichendes transtemporales Schallfenster einstellen lassen, kann mithilfe eines Ultraschallkontrastmittels (zum Einsatz als Schallverstärker) noch eine ausreichende Gefäßdarstellung erreicht werden.

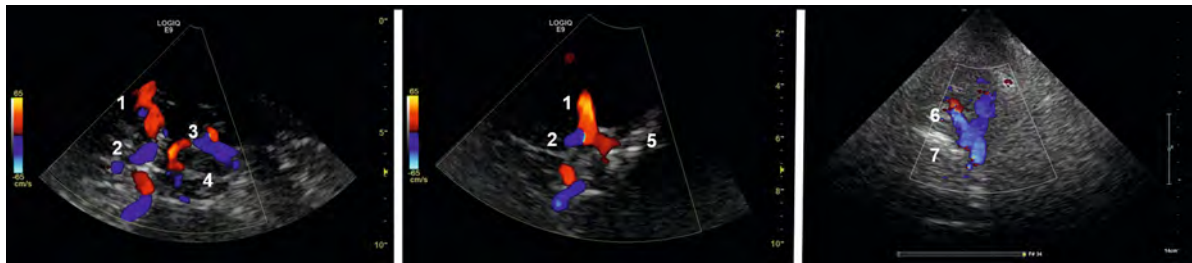
### Cave

**Es ist zu beachten, dass die mit einem Ultraschallkontrastmittel gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten falsch hoch sind und die Absolutwerte nicht verwendbar sind. Es besteht lediglich die Möglichkeit, im Seitenvergleich Differenzen aufzudecken.**

Das beste transtemporale Schallfenster findet sich meist auf einer gedachten Verbindungslinie zwischen dem äußeren Augenwinkel und dem oberen Ohransatz. Ein gutes Schallfenster ist erreicht, wenn die Kalotten-Gegenseite (Einstellungstiefe 15 cm) suffizient dargestellt ist. Als intrakranielle Leitstruktur wird der Hirnstamm (Mesenzephalon) mit seiner typischen echoarmen, schmetterlingsförmigen Kontur mit umgebender echoreicher basaler Zisterne eingestellt. Nach Einschalten des Farbmodus (Einstellungstiefe: 10 cm) findet sich hier die A. cerebri posterior (PCA), die bogenförmig um den Hirnstamm verläuft. Etwas rostral hiervon, mit einer auf die Sonde zulaufenden Strömungsrichtung, lässt sich die A. cerebri media (MCA) (M1) darstellen, oft auch noch ihre Bi- bzw. Trifurkation mit den M2-Ästen (► **Abb. 3, 4**). In ca. 3 % der Fälle liegt eine mediale Bifurkation vor, die wie ein „gedoppeltes M1-Segment“ wirkt.

Richtung Mittellinie findet sich, im Normalfall mit einer von der Sonde weggerichteten Strömungsrichtung („antegrad“), die A. cerebri anterior (ACA) (A1). Als häufigen pathologischen Befund findet sich hier bei proximal vorgeschalteter hochgradiger Stenose bzw. bei Verschluss in der ACI im Sinne eines Kollateralkreislaufes eine umgekehrte Strömungsrichtung („retrograde“ ACA, „anterior-cross-filling“). Die A. communicans anterior et posterior lassen sich größen- und anatomiebedingt nicht regelhaft darstellen. Eine Beurteilung des Karotis-T bzw. der Kavernösen, distalen ACI und des Basilariskopfes wird durch eine senkrechte Kippung und Ausrichtung des Schallkopfes in Richtung des gegenüberliegenden Jochbogens





► **Fig. 3** Normal findings of the intracranial arteries. Middle cerebral artery (1) with flow to the probe (red) in the horizontal (left) and coronal cross-sectional plane (center; 5: hyperechoic double outline of the carotid canal). The anterior cerebral artery (2, blue) flows away from the probe. The posterior cerebral artery (3) surrounds the brainstem (4) and is depicted in red in the area of origin and blue in the posterior section. On the right is the vertebrobasilar “Y”, the confluence of the bilateral vertebral arteries (6) into the basilar artery (7) displayed with transnuchal insonation.

► **Abb. 3** Normalbefund der intrakraniellen Arterien. A. cerebri media (1) mit Fluss auf die Sonde zu (rot) in horizontaler (links) und koronarer Schnittbildebene (Mitte; 5: hyperechogene Doppelkontur des Karotiskanals). Die A. cerebri anterior (2, blau) fließt von der Sonde weg. Die A. cerebri posterior (3) umfließt den Hirnstamm (4) und ist im Ursprungsbereich rot und im posterioren Abschnitt blau dargestellt. Rechts ist das vertebrobasiläre „Y“, der Zusammenfluss der beidseitigen Aa. vertebrales (6) in die A. basilaris (7), mittels transnuchaler Beschallung abgebildet.

rectly high, and the absolute values cannot be used. It is only possible to detect side-to-side differences of flow velocities.

The best transtemporal bone window is usually found on an imaginary junction between the outer angle of the eye and the upper ear. A good bone window is achieved when the opposite side of the skull (insonation depth: 15 cm) is sufficiently displayed. The brainstem (mesencephalon) is set as an intracranial guiding structure with its typical hypoechoic butterfly-shaped contour with surrounding high echogenic basal cistern. Switching to color coded imaging (insonation depth: 10 cm), the posterior cerebral artery (PCA) can be seen winding around the brainstem. Rostrally to the PCA, the middle cerebral artery (MCA) (M1) and also the bifurcation/trifurcation with its M2 branches can be depicted with a flow direction towards the probe (► Fig. 3, 4). In approximately 3 % of cases, the MCA has a medial bifurcation, which acts like a “doubled M1 segment”.

Towards the midline, the anterior cerebral artery (ACA) is visible, normally with a flow direction away from the probe (“antegrade”) (A1). The most common pathological finding is a reverse flow direction (“retrograde” ACA, “anterior-cross-filling”) in case of a high-grade stenosis/occlusion in the extracranial internal carotid artery (ICA) representing a collateral circulation. The anterior and posterior communicating arteries cannot be depicted regularly due to their small size and anatomy. Assessment of the carotid T, or the cavernous distal ICA, and the basilar head is possible by tilting the transducer vertically and aligning it in the direction of the opposite zygomatic arch (coronal incision) (► Fig. 1, 3). For documentation purposes, the vessel is to be displayed in duplex mode (B-mode imaging plus color coding) for each vessel section examined, together with a Doppler spectrum derived from this vessel segment. In straight vessel segments with a length of about 15 mm in

which the flow vector can be clearly determined, the derivation of the Doppler spectrum should be angle-corrected [12]. The electronic caliper of the ultrasound device can be used to measure peak systolic velocity (PSV) and end diastolic velocity (EDV). For many devices, the intensity-weighted mean flow velocity (MFV) is also automatically calculated; calculation:  $(PSV-EDV)/3 + EDV$ . However, in the case of poor bone windows or even higher-grade stenosis, the latter can be distorted by artifacts in the Doppler spectrum due to aliasing, turbulence, or a poor signal-to-noise ratio.

#### Note

In North American literature, MFV is widely used in transcranial Doppler and duplex ultrasound as a reference measure of flow rates, while PSV and EDV are also commonly used in Europe.

Flow accelerations of the intracranial vessels are the most common pathological findings. When grading stenosis, a division into greater or less than 50 % has been established. A detailed list of the PSV cut-off values can be found in ► Table 2, along with the guiding standard values [4, 5, 13]. Occlusions of intracranial arteries are more difficult to diagnose; this is certainly possible for the M1 segment of the middle cerebral artery provided a sufficient insonation window. If ipsilateral ACA and PCA can be visualized, a missing M1 segment of the MCA is evidence of occlusion (► Fig. 5).

For the assessment of vasospasm, e. g., after a subarachnoid hemorrhage, it is common to determine the mean flow velocity (MFV) and the ratio of MFV between the middle cerebral artery and the internal carotid artery (Lindgaard index [14]). Doppler sonography with a 2 MHz probe is still frequently used to assess vasospasm. It has been shown to be permanently available and reliable in application, espe-

möglich (koronare Schnittführung ▶ **Abb. 1, 3**). Zur Dokumentation ist für jeden untersuchten Gefäßabschnitt das Gefäß im Duplex-Modus (B-Bild plus Farbkodierung) darzustellen und gleichzeitig ein hieraus abgeleitetes Dopplerspektrum mit abzubilden. In geraden Gefäßsegmenten (Länge ca. 15 mm), in denen der Strömungsvektor eindeutig bestimmt werden kann, sollte die Ableitung des Dopplerspektrums winkeltkorrigiert erfolgen [12]. Mit der Messfunktion des Ultraschallgerätes können die Spitzen-Strömungsgeschwindigkeit in der Systole („peak systolic velocity“, PSV) und die end-diastolische Strömungsgeschwindigkeit („end diastolic velocity“, EDV) bestimmt werden. Bei vielen Geräten wird zusätzlich automatisch die intensitätsgewichtete mittlere Strömungsgeschwindigkeit („mean flow velocity“, MFV; Berechnung:  $(PSV - EDV)/3 + EDV$ ) berechnet. Letztere kann allerdings bei schlechten Knochenfenstern oder auch bei höhergradigen Stenosen – durch Artefakte im Dopplerspektrum bedingt – durch Aliasing, Turbulenzen oder ein schlechtes Signal-Rausch-Verhältnis verfälscht werden.

#### Merke

Im nordamerikanischen Schrifttum wird bei der transkranialen Doppler- und Duplexsonografie zur Messung der Strömungsgeschwindigkeiten weitgehend die MFV als Referenzmaß verwendet, während in Europa auch PSV und EDV üblich sind.

Als häufigste pathologische Befunde finden sich Strömungsbeschleunigungen der intrakraniellen Gefäße. Bei der Stenose-Graduierung hat sich eine Einteilung in größer bzw. kleiner als 50% etabliert. Eine detaillierte Auflistung der PSV-Cut-off-Werte findet sich in ▶ **Tab. 2** zusammen mit den orientierenden Normwerten [4, 5, 13]. Verschlüsse intrakranieller Arterien sind schwieriger zu diagnostizieren, am sichersten gelingt dies bei gutem Knochenfenster für das M1-Segment der A. cerebri media. Bei Darstellbarkeit der ipsilateralen ACA und PCA ist ein fehlendes M1-Segment der MCA ein Beleg für einen Verschluss (▶ **Abb. 5**).

Für die Beurteilung von Vasospasmen, bspw. nach einer Subarachnoidalblutung, sind die Bestimmung der MFV sowie die Bestimmung eines Quotienten der MFV zwischen A. cerebri media und A. carotis interna (Lindegaard-Index [14]) üblich. Zur Anwendung kommt bei der Beurteilung von Vasospasmen immer noch häufig die TCD mit einer 2-MHz-Sonde. Diese hat sich insbesondere auf den Intensivstationen als dauerhaft verfügbar und verlässlich in der Anwendung gezeigt, sodass diese in der Praxis häufig gegenüber der Duplexsonografie bevorzugt zum Einsatz kommt.

#### Merke

Bei einer MFV höher als 120 cm/s spricht man von beginnenden Vasospasmen, ab 160 cm/s sind diese signifikant und ab 200 cm/s als kritisch zu werten (▶ **Abb. 4**).

▶ **Tab. 2** Normwerte der transkranialen Duplexsonografie und zur Diskriminierung zwischen einer leichtgradigen (30–50 %igen) und ≥ 50 %igen Stenose.

	Normwert (PSV) [cm/s ± SD]	< 50 %ige Stenose (PSV) [cm/s]	≥ 50 %ige Stenose (PSV) [cm/s]
A. cerebri media	108 ± 18	≥ 155	≥ 220
A. cerebri anterior	82 ± 17	≥ 120	≥ 155
A. cerebri posterior	60 ± 14	≥ 100	≥ 145
A. vertebralis	60 ± 16	≥ 90	≥ 120
A. basilaris	67 ± 16	≥ 100	≥ 140

PSV: systolische Spitzenströmungsgeschwindigkeit; SD: Standardabweichung

**Ebenfalls verdächtig auf intrakranielle Vasospasmen sind ein Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit von über 50 % bzw. 40 cm/s pro Tag oder ein MFV-Quotient der MCA/ICA > 3 [15].**

Eine weitere Differenzialdiagnose für eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit der intrakraniellen Gefäße stellt das seltene Hyperperfusionssyndrom dar, welches meist in den ersten Tagen nach der Revaskularisierung einer höchstgradigen Stenosierung der A. carotis interna auftreten kann. Hierbei kommt es post-interventionell, wahrscheinlich begünstigt durch eine bereits zuvor eingeschränkte zerebrovaskuläre Reservekapazität, zu einer deutlichen Zunahme des intrakraniellen Blutflusses – mit dem Risiko einer sekundären intrazerebralen Blutung oder der Provokation von epileptischen Anfällen. Auch wenn die Kriterien einer Hyperperfusion in der Literatur variieren, sprechen eine Zunahme um > 100 % der intrakraniellen Strömungsgeschwindigkeiten mit einer reduzierten Pulsatilität und ein verminderter Lindegaard-Index für eine zerebrale Hyperperfusion [16]. Meist bleibt diese ohne klinische Komplikationen und äußert sich lediglich durch leichte Kopfschmerzen und Unwohlsein des Patienten, ein effektives Blutdruck-Management (mit dem Ziel der Normotonie) ist Therapie der Wahl und kann ein manifestes Hyperperfusionssyndrom verhindern.

#### Cave

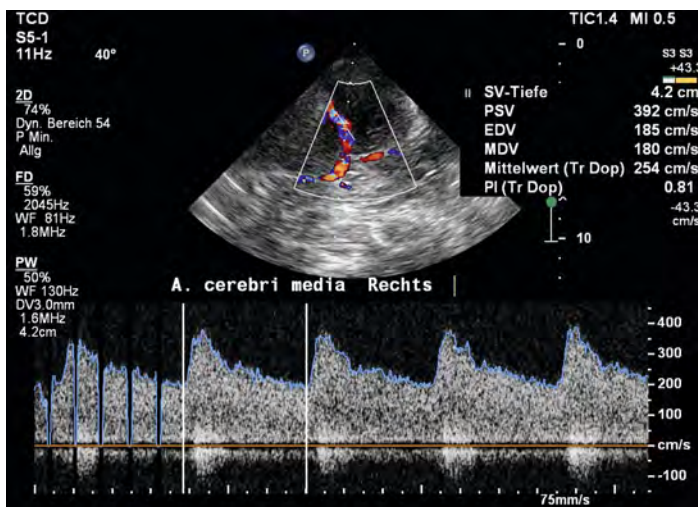
Beim Hyperperfusionssyndrom sind sowohl in den extrakraniellen als auch in den intrakraniellen Gefäßen die Strömungsgeschwindigkeiten erhöht, während bei Vasospasmen nur die Strömungsgeschwindigkeiten der intrakraniellen, nicht aber der extrakraniellen Gefäße, erhöht sind.



► **Table 2** Standard values of transcranial duplex ultrasound, and to discriminate between mild (30–50%) and  $\geq 50\%$  stenosis.

	Standard value (PSV) [cm/s $\pm$ SD]	< 50% stenosis (PSV) [cm/s]	$\geq 50\%$ stenosis (PSV) [cm/s]
Middle cerebral artery	108 $\pm$ 18	$\geq 155$	$\geq 220$
Anterior cerebral artery	82 $\pm$ 17	$\geq 120$	$\geq 155$
Posterior cerebral artery	60 $\pm$ 14	$\geq 100$	$\geq 145$
Vertebral artery	60 $\pm$ 16	$\geq 90$	$\geq 120$
Basilar artery	67 $\pm$ 16	$\geq 100$	$\geq 140$

PSV: peak systolic velocity; SD: standard deviation



► **Fig. 4** A 46-year-old patient with sudden onset of severe headaches, with marked meningism appearing on clinical examination. The medical history reports an additional short-term headache event seven days prior; cranial computed tomography showed a subarachnoid hemorrhage. Transcranial duplex ultrasonography shows greatly increased flow velocities in the intracranial vessels; the image shows the right middle cerebral artery with a peak systolic velocity (PSV) of almost 400 cm/s and a mean flow rate of 254 cm/s, corresponding to a significant vasospasm.

► **Abb. 4** Ein 46-jähriger Patient mit plötzlich aufgetretenen stärksten Kopfschmerzen; in der klinischen Untersuchung imponiert ein ausgeprägter Meningismus. In der Anamnese wird von einem zusätzlichen kurzzeitigen Kopfschmerz-Ereignis vor 7 Tagen berichtet, die kraniale Computertomografie zeigt eine Subarachnoidalblutung. In der transkraniellen Duplexsonografie zeigen sich stark erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten der intrakraniellen Gefäße, auf dem Bild ist die rechte A. cerebri media abgebildet, mit einer systolischen Spitzengeschwindigkeit (PSV) von fast 400 cm/s und einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit („mean“) von 254 cm/s, was einem signifikanten Vasospasmus entspricht.

cially in intensive care units, so that it is often used in practice rather than duplex ultrasound.

#### Note

MFV of more than 120 cm/s is referred to as incipient vasospasm, from 160 cm/s it is considered as significant, and from 200 cm/s it is considered critical (► **Fig. 4**). An increase in flow velocities of over 50% or 40 cm/s per day or an MCA/ICA ratio  $> 3$  [15] is also an indication of a possible intracranial vasospasm.

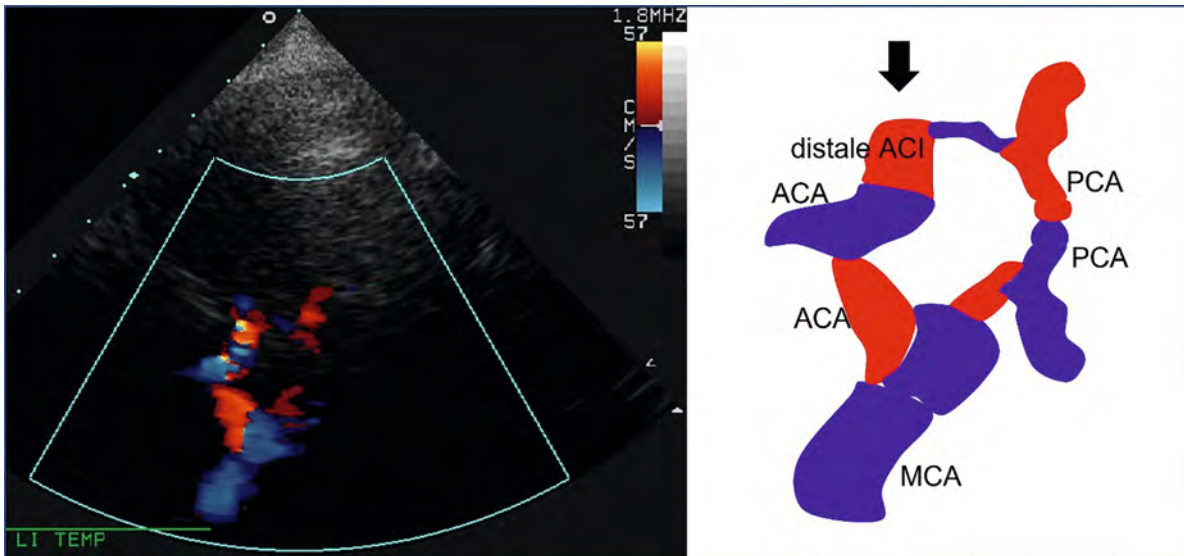
Another differential diagnosis for increased flow velocities in the intracranial vessels is the rare hyperperfusion syndrome, which can occur in the first days after revascularization of a high-grade stenosis of the internal carotid artery. In terms of the post-interventional situation, probably favored by a previously limited cerebrovascular reserve capacity, there is a significant increase in intracranial blood flow with the risk of secondary intracerebral hemorrhage or the provocation of epileptic seizures. Although criteria for hyperperfusion vary in the literature, a  $> 100\%$  increase in intracranial flow rates with reduced pulsatility and a decreased Lindgaard index indicate cerebral hyperperfusion.[16] Usually, this remains without clinical complications and manifests itself only as mild headache and patient discomfort; effective blood pressure management (normotonia) is the therapy of choice and can prevent manifest hyperperfusion syndrome.

#### Cave

In hyperperfusion syndrome, flow velocities are increased in both the extracranial and intracranial vessels, whereas in vasospasm, only the flow rates of the intracranial vessels are increased, but not those of the extracranial vessels.

## Transnuchal examination

In the transnuchal examination to assess the vertebrobasilar arteries, the foramen magnum is set as the hypoechogenic guiding structure. For this purpose, the probe is placed about 2–3 cm below the occiput (► **Fig. 1, 3**). The virtual image plane goes in the direction of the forehead (nasion); the chin of the subject to be examined should be slightly tilted towards the breast. A lateral positioning of the patient with a small head pillow, sparing the neck, allows a relaxed examination position. If tolerated by the patient, this examination can also be performed in a seated position. In color flow imaging, the V4 segments can be depicted on both sides, and the confluence to the basilar artery (vertebrobasilar “Y”, usually at a depth of 7–8 cm) is adjusted and tracked distally. If the probe is tilted slightly laterocaudally, the vertebral artery can also be visualized in the V3 segment. The entire imaging of the basilar artery is often not possible [16], so that indirect stenosis criteria must also be taken into ac-



► **Fig. 5** Middle cerebral artery occlusion: With insonation through the left temporal bone window, the middle cerebral artery (MCA) cannot be visualized either proximally or distally (see arrow in the graph). The remaining cerebral basal arteries are depicted as orthograde. Typical finding in proximal media occlusion (arrow: lack of flow signal from the left occluded MCA).

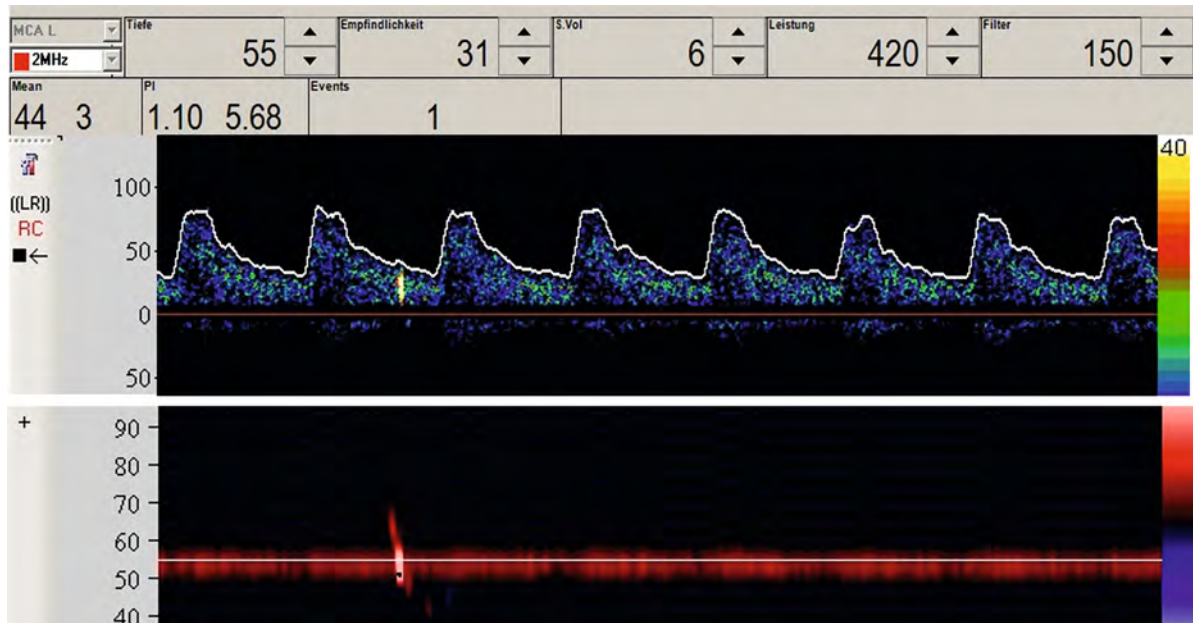
► **Abb. 5** Verschluss der A. cerebri media: Bei Beschallung von links temporal lässt sich die A. cerebri media (MCA) weder proximal noch distal darstellen (s. Pfeil in der Grafik). Die übrigen Hirnbasisarterien kommen orthograd zur Darstellung. Typischer Befund bei proximalem Mediaverschluss (Pfeil: fehlendes Flusssignal der verschlossenen MCA links).

## Untersuchungsgang transnuchal

Bei der transnuchalen Untersuchung für die Beurteilung des vertebrobasilären Stromgebietes wird das Foramen magnum als hypoechogene Leitstruktur eingestellt. Die Sonde wird hierfür ca. 2–3 cm unterhalb des Okziputs angesetzt (► **Abb. 1, 3**). Die virtuelle Schallebene geht in Richtung Stirn (Nasion), das Kinn des zu Untersuchenden sollte hierbei leicht zur Brust geneigt sein. Eine Seitenlagerung mit kleinem Kopfkissen, welches den Hals auspart, erlaubt eine entspannte Untersuchungsposition. Sofern vom Patienten toleriert, kann diese Untersuchung auch in einer sitzenden Position durchgeführt werden. Im Farbmodus lassen sich beidseits die V4-Segmente darstellen, der Übergang in die A. basilaris (vertebrobasiläres „Y“, meist in 7–8 cm Tiefe) wird eingestellt und nach distal verfolgt. Wenn die Sonde etwas nach laterokaudal gekippt wird, lässt sich die A. vertebralis auch im V3-Segment darstellen. Die gesamte Darstellung der A. basilaris gelingt oft nicht [17], sodass hier auch auf indirekte Stenosekriterien geachtet werden muss. Hilfreich kann ergänzend der pw-Doppler (TCD) sein, mit dem gelegentlich ein größerer Bereich untersucht werden kann und der sich gut für bestätigte pathologische Befunde als Verlaufsmodalität eignet.

## Spezielle neurovaskuläre Anwendungsgebiete

In der ätiologischen Abklärung nach einem ischämischen Schlaganfall kann mittels eines „Bubble-Tests“ nach einem kardialen bzw. pulmonalen Rechts-links-Shunt (RLS) gescreent werden. Unter kontinuierlicher Ableitung der linken oder rechten A. cerebri media (unilaterales Monitoring, eine höhere Sensitivität wird unter der simultan bilateralen Ableitung erzielt) oder alternativ (bei insuffizienter transtemporaler Beschallungsbedingung), der A. basilaris oder extrakraniellen A. carotis interna, wird ein nicht lungengängiges Ultraschallkontrastmittel gespritzt und ein Valsalva-Manöver durchgeführt, welches bei korrekter Durchführung zu einer Flussminderung der Hirnbasisarterien führt. Als Kontrastmittel hat sich, nachdem das Präparat Echovist vom Markt genommen wurde, eine mit 1 ml Luft aufgeschäumte („agitierte“) Lösung aus 10 ml isotoner Kochsalzlösung bewährt. Nach möglichst rascher intravenöser Injektion (Kubitalvene rechts) wird das Valsalva-Manöver 5 Sekunden nach der Injektion begonnen, die Ableitung der A. cerebri media wird über insgesamt 30 Sekunden durchgeführt. Nach weiteren 5–7 Sekunden nach dem Valsalva-Manöver können bei einem RLS erste HITS („high intensity transient signals“) nachgewiesen werden (► **Abb. 6**). Eine semiquantitative Abschätzung der HITS-Anzahl (> 10: V. a. relevanten RLS; „Schauer“: V. a. großen RLS) kann eine erste Einordnung geben [18, 19]. Über die exakten Zeitabläufe und die Größenbestimmung beziehungsweise Diagnose eines persistierenden Foramen ovale (PFO) nach der Anzahl der geschunteten Kontrastbläschen besteht kein genereller



► **Fig. 6** A 68-year-old patient with symptomatic left-sided carotid artery stenosis. Continuous embolism detection of the left middle cerebral artery showed multiple MES/HITS (see arrow for an example). Signal behavior and the typical acoustic “chirp” signal are characteristic. In the upper half of the image, the continuous Doppler recording can be seen at a depth of 55 mm, in which the embolism signal can be clearly differentiated from the normal flow. Below is the so-called Power M mode; here, the path of the embolism is also depicted over a depth of 55 mm.

► **Abb. 6** Ein 68-jähriger Patient mit einer linksseitigen, symptomatischen Karotisstenose. Die kontinuierliche Emboliedetektion der linken A. cerebri media zeigte mehrere MES/HITS (ein Beispiel siehe Pfeil). Charakteristisch sind das Signalverhalten und das typische akustische „Chirp“-Signal. In der oberen Bildhälfte ist die kontinuierliche Doppler-Ableitung in 55 mm Tiefe zu sehen, in der sich das Emboliesignal klar gegenüber dem normalen Fluss abgrenzen lässt. Unten ist der sog. Power-M-Mode dargestellt: Hier zeichnet sich der Weg des Embolus auch über die Tiefe von 55 mm ab.

count here. In addition, pw Doppler (TCD) can be helpful, as it can occasionally be used to examine a larger area, and is well suited as a follow-up modality for confirmed pathological findings.

### Special neurovascular indications

In the diagnostic work-up in patients with an ischemic stroke, a “bubble test” can be performed to test for a right-left shunt (RLS). With continuous recording of the cardiac or pulmonary left or right middle cerebral artery (unilateral monitoring, higher sensitivity is achieved with simultaneous bilateral recording), or alternatively, in the case of insufficient transtemporal insonation, recording of the basilar artery or the extracranial internal carotid artery), a ultrasound contrast enhancing agent which cannot pass the pulmonary circulation, is injected and a Valsalva maneuver is performed, which, if implemented correctly, leads to a reduction of intracranial arterial flow. After the preparate Echovist was taken off the market, an isotonic saline solution (10 mL solution ‘agitated’ with 1 mL air) has proven useful as a contrast enhancing agent. After injecting IV (right cubital vein) as quickly as possible, the Valsalva maneuver is started 5 seconds after the injection, and the middle cerebral artery is recorded

for a total of 30 seconds. A further 5–7 seconds after the Valsalva maneuver, the first HITS (high intensity transient signals) can be detected at presence of an RLS (► **Fig. 6**). A semiquantitative estimate of the number of HITS (> 10: particularly relevant RLS; “curtain”: particularly large RLS) can provide an initial classification [18, 19]. There is no general consensus on the exact timing and the quantification or diagnosis of a patent foramen ovale (PFO) based on the number of shunted contrast bubbles. The test can be repeated without Valsalva maneuver in order to detect spontaneous RLS. Transcranial RLS detection only allows assessing the presence of RLS, with high sensitivity. Based on the number of microbubbles and time delay in occurrence, no reliable statement can be made about the type (shunt at the cardiac or pulmonary level) and size of PFO. This can only be achieved by qualified transesophageal echocardiography, which also assesses morphological aspects of the PFO.

Continuous recording of the middle cerebral artery is also important in the assessment of asymptomatic carotid artery stenosis. For example, the occurrence of HITS or MES (microembolic signals) in case of an extracranial stenosis is an indication of increased embolicity and is considered an argument for referring asymptomatic carotid artery

Konsens. Bei positivem Befund kann die Untersuchung ohne Valsalva-Manöver wiederholt werden, um einen spontanen Rechts-Links-Shunt zu detektieren. Die transkranielle RLS-Detektion erlaubt nur die Diagnose eines RLS generell, dies aber mit hoher Sensitivität. Anhand der Zahl der Mikrobläschen und aufgrund der Zeitverzögerung des Auftretens kann keine sichere Aussage über die Art (Shunt auf kardialer oder pulmonaler Ebene) und Größe eines PFO getroffen werden. Dies gelingt nur durch eine qualifizierte transösophageale Echokardiografie, mit der auch eine Beurteilung morphologischer Aspekte des PFO erfolgt.

Auch in der Beurteilung asymptomatischer Karotisstenosen hat die kontinuierliche Ableitung der A. cerebri media ihren Stellenwert. So ist das Auftreten von HITS bzw. MES (mikroembolischen Signalen) bei einer vorgeschalteten Stenose ein Indiz für eine erhöhte Emboligenität. Dies wird als Argument angesehen, auch eine asymptomatische Karotisstenose ggf. einer operativen oder interventionellen Therapie zukommen zu lassen [20]. Die Ableitung erfolgt 30–60 Minuten lang meist automatisiert, nach manueller Einstellung über eine spezielle Sondenhalterung, bei der Auswertung hilft eine softwarebasierte Vorselektion der Ereignisse. Die Abgrenzung von Artefakten erfordert eine gewisse Erfahrung: Typisch für HITS ist eine kurze Dauer (< 300 ms), mit einer um mindestens 3 dB größeren Amplitudenintensität im Vergleich zum Hintergrundsignal des Blutflusses, einem Auftreten unabhängig vom Herzschlag und charakteristischem „Chirp“-Geräusch. Wenn verfügbar, kann zusätzlich der Power-M-Modus für eine bessere Differenzierbarkeit gegenüber Artefakten sorgen. Hierbei werden mehrere Doppler-Detektionsvolumina in einer Schallrichtung kontinuierlich hintereinandergeschaltet und im M-Mode-Format abgebildet (► **Abb. 6**) [21].

Ein weiteres Kriterium, welches auf ein erhöhtes Risiko für eine Emboligenität einer bislang asymptomatischen Karotisstenose hindeuten kann, ist eine erschöpfte vasomotorische Reservekapazität. Diese spiegelt eine gestörte zerebrovaskuläre Autoregulation wider und tritt bei hämodynamisch relevanten vorgeschalteten Stenosen oder Verschlüssen auf. Hierbei sind die intrakraniellen Arteriolen bereits maximal weit gestellt, sodass ein zusätzlicher vasodilatatorischer Reiz nicht mehr zu einer relevanten Zunahme des Blutflusses führt. Der zerebrale Perfusionsdruck ist in dieser Konstellation stärker von dem systemischen Blutdruck abhängig, als es bei intakter Autoregulation der Fall wäre. Die Testung der vasomotorischen Reservekapazität kann durch die Gabe eines 5%igen CO<sub>2</sub>-Gas-Gemisches (CO<sub>2</sub> stellt einen potenten vasodilatatorischen Reiz dar) erfolgen, während die Ableitung der Strömungsgeschwindigkeit in der proximalen A. cerebri media erfolgt. Bleibt eine relevante Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit der A. cerebri media aus (> 30% des Ausgangswertes), spricht man von einer erschöpften bzw. eingeschränkten Reservekapazität, die mit einem erhöhten Schlaganfallrisiko einhergeht [22]. Alternativ kann statt CO<sub>2</sub> auch Acetazolamid

(1000 mg i. v.) appliziert werden, oder ein sog. „Breath-Holding-Test“ (Differenz zwischen Strömungsgeschwindigkeit bei Hyperventilation und Luftanhalten für > 30 s, Patienten-Compliance vorausgesetzt) angewandt werden.

Der Vollständigkeit halber sei auch das Anwendungsgebiet für den Nachweis des irreversiblen Hirnfunktionsausfalls erwähnt, da die transkranielle Doppler-/Duplexsonografie bettseitig und ohne aufwendigen Patiententransport auf der Intensivstation ihren Einsatz findet. Für die detaillierten formalen und technischen Ausführungsbestimmungen wird auf die gängige Literatur verwiesen [23].

#### KERNAUSSAGEN

- Die Messung der Weite der Nervenscheide des N. opticus erfolgt 3 mm hinter der retinalen Ebene und beträgt bei Gesunden im Mittel  $5,4 \pm 0,5$  mm.
- Mittels Orbitasonografie kann ein Verschluss der A. centralis retinae diagnostiziert und in manchen Fällen zusätzlich ein stark echoreicher Embolus (Spot-sign) nachgewiesen werden.
- Die transkranielle Duplexsonografie ermöglicht im Vergleich zur Dopplersonografie eine bessere Gefäßidentifikation, eine winkelkorrigierte Messung, sowie eine Beurteilung von Parenchym und Ventrikeln.
- Wichtigstes Kriterium für eine Stenose > 50% der A. cerebri media (MCA, Hauptstamm) ist eine systolische Spitzengeschwindigkeit (PSV) > 220 cm/s.
- Kriterien von signifikanten intrakraniellen Vasospasmen sind eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit (MFV) > 160 cm/s, ein Anstieg der MFV > 50% bzw. > 40 cm/s pro Tag oder ein MFV-Quotient der MCA/ICA > 3.
- Eine Zunahme der intrakraniellen Strömungsgeschwindigkeiten um 100% mit einer reduzierten Pulsatilität in Kombination mit einem verminderten Lindegaard-Index sprechen für eine zerebrale Hyperperfusion.
- Mittels kontinuierlicher Ableitung der A. cerebri media kann nach intravenöser Injektion von agitierter physiologischer Kochsalzlösung und Durchführung eines Valsalva-Manövers ein kardialer bzw. pulmonaler Rechts-Links-Shunt detektiert werden.
- Bei hämodynamisch relevanten vorgeschalteten Stenosen oder Verschlüssen (z.B. der A. carotis interna) kann nach Applikation eines vasodilatatorischen Stimulus (CO<sub>2</sub>-Inhalation, Acetazolamid-Injektion oder „Breath-Holding-Test“) eine gestörte zerebrovaskuläre Autoregulation nachgewiesen werden.
- Insgesamt stellt die transkranielle Sonografie, insbesondere in der Neuro-Intensivmedizin, einen unverzichtbaren Bestandteil der apparativen Diagnostik dar.



stenosis to surgical or interventional therapy [19]. The recording is usually automated for 30–60 minutes after manual adjustment via a special probe holder; software-based preselection of the events helps in the evaluation. Differentiating emboli from artifacts requires sufficient expertise; a short duration (< 300 ms) is typical of HITS, the amplitude intensity should be by at least 3 dB greater than the background signal of blood flow, their occurrence is independent of the heartbeat, and with the typical “chirp” sound. If available, power M mode can also provide better differentiation from artifacts. Here, a row of multiple Doppler sample volumes are imaged in the M mode format (► **Fig. 6**) [21].

Another criterion that can predict an increased risk for the subsequent symptomatology of a clinical silent carotid stenosis is an exhausted vasomotor reserve capacity. This reflects impaired cerebrovascular autoregulation and occurs with hemodynamically relevant extracranial stenosis or occlusions. Here, the intracranial arterioles are already maximally dilated, so that an additional vasodilator stimulus no longer leads to a relevant increase in blood flow. In this constellation, cerebral perfusion pressure is more dependent on systemic blood pressure than it would be with intact autoregulation. Vasomotor reserve capacity can be tested by administering a 5% CO<sub>2</sub> gas mixture (CO<sub>2</sub> represents a potent vasodilator stimulus), while the flow velocities in the proximal middle cerebral artery is recorded. If no relevant increase in the flow velocities of the middle cerebral artery (i. e., > 30% of the baseline) occurs, this is referred to as depleted or limited reserve capacity, which is associated with an increased risk of stroke [22]. Alternatively, acetazolamide (1000 mg i. v.) can also be administered instead of CO<sub>2</sub>, or a breath-holding test (difference between flow rate at hyperventilation and air retention for > 30 s, assuming patient compliance) can be applied.

For the sake of completeness, the field of application for the detection of irreversible brain function loss should also be mentioned, since transcranial Doppler/duplex ultrasound is used in a bedside setting and does not require laborious patient transport to the intensive care unit. For the detailed formal and technical implementation provisions, please refer to the current literature [23].

#### KEY TAKEAWAYS

- The width of the optic nerve sheath is measured 3 mm behind the retinal plane and is on average  $5.4 \pm 0.5$  mm in healthy individuals.
- Orbital sonography can be used to diagnose retinal central artery occlusion and, in some cases, also to detect a highly echogenic embolus (spot sign).
- Compared to Doppler sonography, transcranial duplex ultrasound enables better vessel identifica-

tion, angle-corrected measurement, and assessment of the parenchyma and ventricles.

- The most important criterion for stenosis > 50% of the middle cerebral artery (MCA, main stem) is peak systolic velocity (PSV) > 220 cm/s.
- The criteria for significant intracranial vasospasms are a mean flow velocity (MFV) > 160 cm/s, an increase in MFV > 50% and > 40 cm/s per day, respectively, or an MCA/ICA ratio > 3.
- An increase in intracranial flow velocities of 100% with reduced pulsatility in combination with a decreased Lindegaard index indicate cerebral hyperperfusion.
- By means of continuous Doppler recording of the middle cerebral artery, IV injection of a ultrasound contrast enhancing agent that cannot pass the pulmonary circulation, and implementation of a Valsalva maneuver, screening can be performed for a cardiac or pulmonary right-left shunt.
- In hemodynamically relevant extracranial stenosis or occlusions of precerebral arteries (e. g. ICA), impaired cerebrovascular autoregulation can be detected after application of a vasodilator stimulus (CO<sub>2</sub> inhalation, acetazolamide injection, or breath-holding test).
- Overall, transcranial ultrasound is an indispensable part of instrumental diagnosis, especially in neuro-intensive care.

#### Conflict of Interest

##### Declaration of financial interests

Receipt of research funding: no; receipt of payment/financial advantage for providing services as a lecturer: Yes, from another institution (pharmaceutical or medical technology company, etc.); 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



## Interessenkonflikt

### Erklärung zu finanziellen Interessen

Forschungsförderung erhalten: nein; Honorar/geldwerten Vorteil für Referententätigkeit erhalten: Ja, von einer anderen Institution (Pharma- oder Medizintechnikfirma usw.); Bezahlter 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

Klinik und Poliklinik für Neurologie  
Universitätsmedizin Mainz  
Langenbeckstr. 1  
55131 Mainz  
Germany  
Tel.: ++49/61 31/17 31 05  
Fax: ++49/61 31/17 47 31 05  
klaus.groesche@unimedizin-mainz.de

## Literatur

- [1] Gröschel K, Harrer J, Schminke UU et al. Ultrasound assessment of brain supplying arteries (extracranial). *Ultraschall in Med* 2023. doi:10.1055/a-2158-9629
- [2] Widder B, Hamann G. Duplexsonographie der hirnvorsorgenden Arterien. 7. Auflage. Deutschland: Springer-Verlag GmbH; 2018. doi:10.1007/978-3-642-29812-7
- [3] 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](https://www.degum.de/fileadmin/dokumente/sektionen/neurologie/richtlinien/DokuEmpfehlungen_Englisch_korrigiert.pdf)
- [4] Valdueza JM, Schreiber S, Röhl JE et al. Neurosonology and Neuroimaging of Stroke: A Comprehensive Reference; Georg Thieme Verlag KG; 2016. doi:10.1055/b-004-135648
- [5] Csiba L, Baracchini C. Manual of Neurosonology. Cambridge University Press; 2016.
- [6] Hirzallah MI, Lochner P, Hafeez MU et al. Quality assessment of optic nerve sheath diameter ultrasonography: Scoping literature review and Delphi protocol. *J Neuroimaging* 2022. doi:10.1111/jon.13018
- [7] Ertl M, Barinka F, Torka E et al. Ocular color-coded sonography – a promising tool for neurologists and intensive care physicians. *Ultraschall in Med* 2014; 35: 422–431. doi:10.1055/s-0034-1366113
- [8] Czihal M, Lottspeich C, Kohler A et al. Transocular sonography in acute arterial occlusions of the eye in elderly patients: Diagnostic value of the spot sign. *PLoS One* 2021; 16: e0247072. doi:10.1371/journal.pone.0247072
- [9] Nedelmann M, Graef M, Weinand F et al. Retrobulbar Spot Sign Predicts Thrombolytic Treatment Effects and Etiology in Central Retinal Artery Occlusion. *Stroke* 2015; 46: 2322–2324. doi:10.1161/STROKEAHA.115.009839
- [10] Droste DW. Clinical utility of contrast-enhanced ultrasound in neurosonology. *Eur Neurol* 2008; 59 (Suppl. 1): 2–8. doi:10.1159/000114454
- [11] Krejza J, Mariak Z, Babikian VL. Importance of angle correction in the measurement of blood flow velocity with transcranial Doppler sonography. *AJNR Am J Neuroradiol* 2001; 22: 1743–1747
- [12] Nedelmann M, Stolz E, Gerriets T et al. Consensus recommendations for transcranial color-coded duplex sonography for the assessment of intracranial arteries in clinical trials on acute stroke. *Stroke* 2009; 40: 3238–3244. doi:DOI: 10.1161/STROKEAHA.109.555169
- [13] Baumgartner RW, Mattle HP, Schroth G. Assessment of  $\geq 50\%$  and  $< 50\%$  intracranial stenoses by transcranial color-coded duplex sonography. *Stroke* 1999; 30: 87–92. doi:10.1161/01.str.30.1.87
- [14] Lindegaard KF, Nornes H, Bakke SJ et al. Cerebral vasospasm diagnosis by means of angiography and blood velocity measurements. *Acta Neurochir (Wien)* 1989; 100: 12–24. doi:10.1007/BF01405268
- [15] Sharma S, Lubrica RJ, Song M et al. The Role of Transcranial Doppler in Cerebral Vasospasm: A Literature Review. *Acta Neurochir Suppl* 2020; 127: 201–205. doi:10.1007/978-3-030-04615-6\_32
- [16] van Mook WN, Rennenberg RJ, Schurink GW et al. Cerebral hyperperfusion syndrome. *Lancet Neurol* 2005; 4: 877–888. doi:10.1016/S1474-4422(05)70251-9
- [17] Pade O, Eggers J, Schreiber SJ et al. Complete basilar artery assessment by transcranial color-coded duplex sonography using the combined transforaminal and transtemporal approach. *Ultraschall in Med* 2011; 32 (Suppl. 2): E63–E68. doi:10.1055/s-0031-1299054
- [18] Jaus M, Zanette E. Detection of right-to-left shunt with ultrasound contrast agent and transcranial Doppler sonography. *Cerebrovasc Dis* 2000; 10: 490–496. doi:10.1159/000016119
- [19] Zetola VF, Lange MC, Scavasin VC et al. Latin American Consensus Statement for the Use of Contrast-Enhanced Transcranial Ultrasound as a Diagnostic Test for Detection of Right-to-Left Shunt. *Cerebrovasc Dis* 2019; 48: 99–108. doi:10.1159/000503851
- [20] Markus HS, King A, Shipley M et al. Asymptomatic embolisation for prediction of stroke in the Asymptomatic Carotid Emboli Study (ACES): a prospective observational study. *Lancet Neurol* 2010; 9: 663–671. doi:10.1016/S1474-4422(10)70120-4
- [21] Moehring MA, Spencer MP. Power M-mode Doppler (PMD) for observing cerebral blood flow and tracking emboli. *Ultrasound Med Biol* 2002; 28: 49–57. doi:10.1016/s0301-5629(01)00486-0
- [22] 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
- [23] Walter U, Schreiber SJ, Kaps M. Doppler and Duplex Sonography for the Diagnosis of the Irreversible Cessation of Brain Function (“Brain Death”): Current Guidelines in Germany and Neighboring Countries. *Ultraschall in Med* 2016; 37: 558–578. doi:10.1055/s-0042-112222

## CME-Questions

### Question 1

What is the direction of flow in the supratrochlear artery under physiological conditions?

- A The flow is usually directed towards the probe
- B The flow is usually directed away from the probe
- C Without compression of the superficial temporal artery, there is always zero flow
- D Compression of the superficial temporal artery reverses the direction of flow
- E A compression test should not be performed under physiological conditions

### Question 2

What applies when it comes to examination of the optic nerve?

- A The highest energy transcranial pulsed wave probe should be used
- B The optic nerve is hyperechogenic (bright)
- C The mechanical index (MI) should not exceed 0.2
- D The central retinal artery cannot usually be visualized
- E The normal optic nerve sheath diameter (ONSD) is 7 mm

### Question 3

What is not true about the temporal bone window?

- A The flow of the middle cerebral artery is directed towards the probe
- B The mesencephalon is a guiding structure in B-mode imaging
- C The flow of the anterior cerebral artery is directed away from the probe
- D Part of the posterior cerebral artery flow may be directed away from the probe
- E The proximal basilar artery can be reliably visualized

### Question 4

What finding can be expected intracranially in the case of (extracranial) proximal occlusion of the left internal carotid artery?

- A The ipsilateral anterior cerebral artery (A1) flow is often retrograde
- B The posterior cerebral artery (P1) shows flow reversal
- C The ipsilateral middle cerebral artery (M1) shows an accelerated flow velocity
- D The ipsilateral supratrochlear artery flow is often orthograde
- E The contralateral middle cerebral artery (M1) shows a flattened, tent-shaped flow profile

### Question 5

What is a criterion for grading a greater 50 % stenosis of the middle cerebral artery (MCA, main stem)?

- A Ipsilateral MCA shows always a significantly reduced poststenotic flow velocity
- B The intrastenotic PSV (peak systolic velocity) of the MCA is over 220 cm/s
- C A 30 % increase in flow velocity in the MCA compared to the opposite side proves a local stenosis of 50 %
- D The prestenotic flow velocity is always reduced in 50 % MCA stenosis
- E The mean flow velocity is below 160 cm/s

### Question 6

What applies to the diagnosis of proximal MCA occlusion?

- A Ultrasound is the first choice for acute diagnostics when deciding on therapy (thrombolysis and/or thrombectomy).
- B Absence of Doppler and duplex signal of the ipsilateral MCA always proves the diagnosis
- C Reliable assessment in the absence of a signal of the MCA is only possible if the ipsilateral anterior and posterior cerebral arteries can be visualized
- D Can only be assessed with ultrasound contrast enhancing agents
- E The ipsilateral anterior cerebral artery flow must be retrograde

### Question 7

What is the cut-off criterion for significant vasospasm of middle cerebral artery after subarachnoid hemorrhage?

- A A systolic peak velocity of more than 160 cm/s
- B A mean flow velocity of at least 160 cm/s
- C Flow velocity increases by more than 30 %/day
- D A peak systolic velocity of more than 250 cm/s
- E Flattened flow profile of the affected artery

### Question 8

What does not apply to transcranial ultrasonography?

- A The guiding structure of B-mode imaging is the foramen magnum
- B The basilar artery can mostly be visualized throughout the entire course of the vessel
- C The basilar artery can usually be visualized on color-coded duplex sonography in the proximal third
- D The distal vertebral artery can be depicted in the V4 segment
- E The confluence of the vertebral arteries into the basilar artery looks like a "Y"

► Additional questions on the next page...

## CME Questions

### Question 9

The spontaneous occurrence of several high intensity transient signals (HITS) in the Doppler spectrum of the right middle cerebral artery is suggestive of:

- A Severe mitral valve insufficiency
- B Recurrent microembolism, e. g., with severe ipsilateral stenosis of the internal carotid artery
- C Respiratory artifacts
- D Turbulent flow
- E Significant vasospasm of the intracranial arteries

### Question 10

What is an indication of depleted vasomotor reserve in the case of high-grade carotid artery stenosis?

- A Lack of increase in ipsilateral MCA flow velocity with sufficient increase in arterial pCO<sub>2</sub>, e. g., due to 30-s breath-holding maneuver
- B 30% decrease in flow velocity in ipsilateral MCA with sufficient increase in arterial pCO<sub>2</sub>, e. g., due to 30-s breath-holding maneuver
- C Vasomotor reserve cannot be estimated by ultrasound
- D Increase in the flow velocity of contralateral MCA after i. v. administration of 1 g acetazolamide
- E The clustered occurrence of HITS

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist in der Regel 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Unter <https://eref.thieme.de/CXM18E1> 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 2760512023163513773



### Frage 1

Wie ist die Strömungsrichtung in der A. supratrochlearis unter physiologischen Bedingungen?

- A In der Regel zur Sonde hin.
- B In der Regel von der Sonde weg.
- C Ohne Kompression der A. temporalis superficialis besteht immer ein Nullfluss.
- D Bei Kompression der A. temporalis superficialis kehrt sich die Strömungsrichtung um.
- E Ein Kompressionstest sollte nicht bei physiologischen Bedingungen durchgeführt werden.

### Frage 2

Was trifft für die Untersuchung des N. opticus zu?

- A Es ist die transkranielle pw-Sonde mit höchster Energie zu verwenden.
- B Der N. opticus stellt sich hyperechogen (hell) dar.
- C Der mechanische Index (MI) sollte nicht über 0,2 liegen.
- D Die A. centralis retinae kann in der Regel nicht dargestellt werden.
- E Die normale Sehnervenscheidenbreite (ONSD) liegt bei 7 mm.

### Frage 3

Was trifft für das temporale Knochenfenster nicht zu?

- A Die Flussrichtung der A. cerebri media ist in Richtung auf die Sonde.
- B Das Mesenzephalon ist eine Leitstruktur im B-Bild.
- C Der Fluss der A. cerebri anterior ist von der Sonde weggerichtet.
- D Ein Teil des Flusses der A. cerebri posterior kann von der Sonde weggerichtet sein.
- E Die proximale A. basilaris kann sicher dargestellt werden.

### Frage 4

Welcher Befund ist bei einem (extrakraniellen) proximalen Verschluss der linken A. carotis interna intrakraniell zu erwarten?

- A Die ipsilaterale A. cerebri anterior (A1) ist häufig retrograd perfundiert.
- B Die A. cerebri posterior (P1) zeigt eine Flussumkehr.
- C Die ipsilaterale A. cerebri media (M1) zeigt eine beschleunigte Strömungsgeschwindigkeit.
- D Die ipsilaterale A. supratrochlearis ist häufig orthograd.
- E Die kontralaterale A. cerebri media (M1) zeigt ein abgeflachtes, zeltförmiges Strömungsprofil.

### Frage 5

Was ist ein Kriterium für die Beschreibung einer über 50 %igen Stenose der A. cerebri media (MCA, Hauptstamm)?

- A Die ipsilaterale MCA zeigt immer eine erheblich verminderte poststenotische Strömungsgeschwindigkeit.
- B Die intrastenotische Strömungsgeschwindigkeit der MCA liegt über 220 cm/s systolisch.
- C Eine 30 %ige Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in der MCA im Vergleich zur Gegenseite beweist eine lokale 50 %ige Stenose.
- D Die prästenotische Strömungsgeschwindigkeit ist bei einer 50 %igen MCA-Stenose immer vermindert.
- E Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit liegt unter 160 cm/s.

### Frage 6

Was gilt für die Diagnose eines proximalen Verschlusses der MCA?

- A Für die Akutdiagnostik ist zur Therapieentscheidung (Lyse und/oder Thrombektomie) der Ultraschall die erste Wahl.
- B Ein fehlendes Doppler- und Duplexsignal der ipsilateralen MCA beweist die Diagnose.
- C Die sichere Diagnose bei fehlendem Flussignal der MCA ist nur möglich, wenn die ipsilaterale A. cerebri anterior und posterior darstellbar sind.
- D Dies kann nur mit einem Echokonstrastverstärker beurteilt werden.
- E Die ipsilaterale A. cerebri anterior muss retrograd perfundiert sein.

### Frage 7

Was ist das Cut-off-Kriterium für signifikante Vasospasmen nach Subarachnoidalblutung?

- A eine systolische Spitzengeschwindigkeit von mehr als 160 cm/s,
- B eine intensitätsgewichtete mittlere Flussgeschwindigkeit ab 160 cm/s,
- C ein Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit von über 30 %/Tag,
- D eine systolische Spitzengeschwindigkeit von mehr als 250 cm/s,
- E ein abgeflachtes Strömungsprofil der betroffenen Arterie.

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite...

## CME Questions

### Frage 8

Was trifft für die Sonografie transnuchal nicht zu?

- A Die B-Bild-Leitstruktur ist das Foramen magnum.
- B Die A. basilaris kann stets in ihrem gesamten Verlauf dargestellt werden.
- C Die A. basilaris kann in der Regel mindestens im proximalen Drittel dargestellt werden.
- D Die distale A. vertebralis kann im V4-Segment dargestellt werden.
- E Der Zusammenfluss der Vertebralarterien in die A. basilaris erinnert an ein „Y“.

### Frage 9

Das spontane Auftreten mehrerer HITS (high intensity transient signals) im Dopplerspektrum der rechten A. cerebri media spricht für:

- A eine schwere Mitralklappen-Insuffizienz,
- B rezidivierende Mikroembolien, z. B. bei ipsilateraler hochgradiger Stenose der A. carotis interna,
- C Atemartefakte,
- D eine turbulente Strömung,
- E signifikante Vasospasmen der intrakraniellen Arterien.

### Frage 10

Was spricht bei einer hochgradigen Karotisstenose für eine erschöpfte Vasomotorenreserve?

- A Fehlender Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit der ipsilateralen MCA bei ausreichendem arteriellem  $p\text{CO}_2$  Anstieg, z. B. durch 30-sekündiges Atemanhalten.
- B Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit in der ipsilateralen MCA um 30% bei ausreichendem arteriellem  $p\text{CO}_2$  Anstieg, z. B. durch 30-sekündiges Atemanhalten,
- C Die Vasomotorenreserve kann nicht mittels Ultraschall abgeschätzt werden.
- D Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit der kontralateralen MCA nach i. v. Gabe von 1 g Acetazolamid.
- E Das gehäufte Auftreten von HITS.



## 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 und 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.