

# Neurosonologische Diagnostik in der Akutphase des Schlaganfalls ist Merkmal einer qualifizierten Versorgung

## Neurosonology Makes the Difference in Acute Stroke Care

### Autoren

Felix Schlachetzki<sup>1</sup>, Max Nedelmann<sup>2</sup>, Holger Poppert<sup>3</sup>, Dorothee Saur<sup>4</sup>, Andreas Harloff<sup>5</sup>, Jan Liman<sup>6</sup>, Matthias Reinhardt<sup>7</sup>, Erwin Stolz<sup>8</sup>, Manfred Kaps<sup>9</sup>

### Institute

- 1 Klinik und Poliklinik für Neurologie der Universität Regensburg, Klinik für neurologische Rehabilitation, Bezirksklinikum Regensburg, Regensburg
- 2 Klinik und Poliklinik für Neurologie am Universitätsklinikum Eppendorf, Klinik für Neurologie der Regio Kliniken GmbH, Pinneberg
- 3 Klinik und Poliklinik für Neurologie der Technischen Universität München, München
- 4 Klinik und Poliklinik für Neurologie am Universitätsklinikum Leipzig, Leipzig
- 5 Klinik und Poliklinik für Neurologie und Neurophysiologie am Universitätsklinikum Freiburg, Freiburg
- 6 Klinik für Neurologie der Universitätsmedizin Göttingen, Georg-August-Universität, Göttingen
- 7 Klinik für Neurologie und klinische Neurophysiologie, Klinikum Esslingen GmbH, Esslingen
- 8 Gemeinschaftspraxis, Frankfurt
- 9 Klinik und Poliklinik für Neurologie, Universitätsklinikum Gießen, Gießen

### Schlüsselwörter

Neurosonografie, neurovaskuläre Bildgebung, Stroke Unit, akuter Hirninfarkt

### Key words

neurovascular imaging, acute stroke, neurosonology, stroke unit

### Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0043-109689> |

Akt Neurol 2017; 44: 501–508

© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

ISSN 0302-4350

### Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Manfred Kaps, Neurologische Klinik der Justus-Liebig-Universität Gießen, Klinikstraße 33, 35385 Gießen  
manfred.kaps@neuro.med.uni-giessen.de

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchung der hirnversorgenden Arterien mittels Doppler- und Duplexsonografie war bislang fester Bestandteil des bewährten Stroke-Unit-Konzepts. Dies hat sich mit der Neufassung der Schlaganfall-OPS geändert: neurosonografische Untersuchungen während der Stroke-Unit-Behandlung sind im Falle der Durchführung einer CT- bzw. MR-Angiografie nicht mehr gefordert.

Nach Eintritt eines ischämischen Schlaganfalls laufen im betroffenen Gefäßsegment und den dazugehörigen Kollateralwegen komplexe, individuell unterschiedliche, hämodynamische Umstellungsprozesse ab, die für das Schicksal des Patienten entscheidend sind. Verschlüsse können persistieren, partiell oder komplett rekanalisieren, kollateral kompensiert werden oder nach Rekanalisation wieder reokkludieren. Diese Prozesse in den ersten Stunden können mittels Ultraschall wie mit keiner anderen Methode verfolgt werden. Je früher die Untersuchung erfolgt, desto aufschlussreicher sind die Befunde, desto besser ist das pathophysiologische Verständnis und desto größer ist der individuelle Nutzen für therapeutische Entscheidungen.

Vielfach werden CTA, MRA und Ultraschall in der Schlaganfallversorgung als kompetitive Methoden begriffen. In Wahrheit handelt es sich aber um komplementäre Verfahren, mit denen auf der Basis von sehr unterschiedlichen physikalischen Prinzipien Bilder erzeugt und Blutgefäße, Hirnperfusion und Blutflüsse dargestellt werden. Mit Blick auf eine spezielle klinische Fragestellung ist jeweils das eine oder andere Verfahren indiziert. Es obliegt dem klinisch verantwortlichen Neurologen hier die richtige Auswahl zu treffen und spezifische neurosonologische Kompetenz einzubringen. Ziel dieser Übersichtsarbeit ist es, Neurologinnen und Neurologen dazu zu motivieren, Neurosonologie speziell in der Akutphase des Schlaganfalls einzusetzen um sich selbst ein Bild zu machen, anstatt sich „ein Bild machen zu lassen“.

### ABSTRACT

Ultrasonography of the extra- and intracranial vessels has been an essential part of the approved concept of Stroke Units in Germany. This review aims to highlight unique selling points of neurosonology in the acute phase of stroke.

In acute ischemic stroke, occlusion or stenosis of an arterial segment induces individually variable and complex changes in cerebral hemodynamics; acute arterial occlusion may persist, may partially or completely recanalize, re-occlude after initial recanalization or may be compensated by collateral blood flow. Ultrasonography is most suitable to monitor these hemodynamic changes in the early stages of a stroke. The earlier neurosonography is performed, the better is the pathophysiological understanding and the more targeted are therapeutic efforts to limit acute neurovascular injury. A general misunderstanding is that CT angiography and/or magnetic resonance imaging and neurosonography in acute stroke care are competitive and interchangeable. However, these methods are rather comple-

mentary since the visualization of blood vessels, cerebral perfusion and hemodynamic flow is based on different physical principles. Each method has particular advantages and limitations. With respect to the specific diagnostic question, one or the other method may be indicated. It is the responsibility of the treating neurologist to select the most appropriate imaging method and to provide specific competence in neurosonography. The main scope of this article is to motivate neurologists to apply neurosonography, specifically in the acute phase of stroke, in order to get an independent assessment and unique hemodynamic information instead of leaving neurovascular competence to radiologists. Purposeful use of neurosonology techniques makes the difference in high quality stroke care.

## Einleitung

Die neuen Leitlinienempfehlungen der Deutschen Schlaganfallgesellschaft (DSG) zur Behandlung des akuten Schlaganfalls und die Neufassung der Schlaganfall-OPS 8–981 bzw. 8–98b, in der die neurologische Ultraschalldiagnostik bei Vorliegen einer CT- oder MR-Angiografie als nicht mehr obligate Diagnostik während der Behandlung auf der Stroke Unit eingestuft ist, werden weitreichende Auswirkungen auf die Versorgungspraxis haben. In diesem Artikel soll das spezielle diagnostische Potenzial der neurovaskulären Sonografie in der Frühphase des Hirninfarktes beschrieben und als Qualitätsmerkmal kompetenter neurovaskulärer Behandlung dargestellt werden.

Nachdem fünf große randomisierte Studien die Wirksamkeit der Thrombektomie bei Patienten mit distalen Verschlüssen der Arteria carotis interna (ACI) und der proximalen Arteria cerebri media (ACM) bewiesen haben, besteht die Notwendigkeit, die Versorgung von Schlaganfallpatienten in Stroke Units und Schlaganfallzentren neu zu überdenken bzw. in Netzwerken zu organisieren. War für die intravenöse Lysebehandlung bisher nur ein einfacher klinisch-neurologischer Score, ein passendes Zeitfenster, der Ausschluss von Kontraindikationen einschließlich einer Computertomografie zum Ausschluss einer Hirnblutung vonnöten, ist nun die Gefäßdiagnostik mit Nachweis eines intrakraniellen Gefäßverschlusses eine zentrale Frage der Akutdiagnostik geworden. Das wiederbelebte Interesse am neurovaskulären Status ist dabei nicht nur für die ca. 5% Thrombektomiekandidaten erfreulich, sondern kommt vielmehr auch **allen** Schlaganfallpatienten einschließlich der ca. 20% Patienten mit sog. „Stroke mimics“ zugute, die auf unseren Stroke Units diagnostiziert und behandelt werden. Mit guten Gründen wird die tägliche 24-stündige Verfügbarkeit der neurovaskulären Ultraschalldiagnostik für eine Zertifizierung der Stroke Unit durch die Deutsche Schlaganfallgesellschaft für „zwingend“ erforderlich erachtet und wurde in einer Befragung von internationalen Schlaganfallexperten in der Mehrheit für „absolut“ notwendig befunden [1, 2].

## Rahmenbedingungen der Schlaganfall-diagnostik

Die neurovaskuläre Sonografie stellt die einzige apparative Diagnostik in der akuten Schlaganfallbehandlung dar, die in der Hand des behandelnden Neurologen liegt. Ansonsten kann formal die rechtfertigende Indikation zur CT- und MRT-Untersuchung nur von Radiologen bzw. Neuroradiologen und Fachärzten mit entsprechender Fachkunde gestellt werden. Dies gilt insbesondere auch für die Priorisierung von Untersuchungen bei begrenzten Kapazitäten. Daten aus Schlaganfallregistern zeigen, dass die Ultraschalldiagnostik im Versorgungsalltag zusammen mit dem Nativ-CT die mit Abstand häufigste Diagnostik ist. Für den Ultraschall besteht rund um die Uhr eine breite Verfügbarkeit über alle Versorgungsstufen hinweg, und es sind keine zusätzlichen technischen Hilfskräfte in 24-stündiger Bereitschaft erforderlich. Eine Kontrastmittelgabe wie bei der CT- oder MR-Angiografie (CTA oder MRA) mit potenziellen Risiken (allergische Reaktion, Nierenversagen, Hyperthyreose) ist in der Regel entbehrlich, was die Methode sicherer macht, und die Untersuchung kann am Patientenbett stattfinden. Den meisten Neurologen stehen für die zuverlässige und genaue Diagnostik mittlerweile qualitativ hochwertige Farbduplexsonografiegeräte zur Verfügung.

## Neurosonografie, CT- oder MR-Angiografie?

Vielfach werden CTA, MRA und Ultraschall in der Schlaganfallversorgung als kompetitive Methoden begriffen. In Wahrheit handelt es sich aber um **komplementäre** Verfahren, mit denen auf der Basis von sehr unterschiedlichen physikalischen Prinzipien Bilder erzeugt und Blutgefäße, Hirnperfusion und Blutflüsse dargestellt werden. Mit Blick auf eine spezielle klinische Fragestellung ist jeweils das eine oder andere Verfahren indiziert. Auch die 24-Stunden-Verfügbarkeit, die therapeutische Konsequenz und die Kooperationsfähigkeit der Patienten spielen dabei eine Rolle. Es obliegt dem klinisch verantwortlichen Neuro-

## VIDEO



<https://doi.org/10.1055/s-0043-109689>

► **Video 1** Patientin mit transitorisch ischämischer Attacke. Thrombus im Lumen der A. carotis interna mit zungenförmig schlagendem Fortsatz nach distal. Darüber rundovale Darstellung der V. jugularis.

logen hier die richtige Auswahl im Hinblick auf die therapeutischen Konsequenzen zu treffen.

Die morphologische Bildgebung mittels Ultraschall basiert auf dem Puls-Reflexionsverhalten von Gewebe. Die Messung von Strömungsgeschwindigkeiten beruht auf dem Doppler-Prinzip, nach dem bewegte Objekte in einem Schallfeld einen Frequenzshift verursachen. Beide physikalisch-technischen Prinzipien können kombiniert werden zur Farbduplexsonografie. Daraus ist abzuleiten, dass morphologische Merkmale des Gewebes und der Blutströmung eine spezifische Abbildung erfahren, die sich von anderen Bildgebungsmethoden grundlegend unterscheidet.

Die Potenziale der Bildgebungsverfahren werden beispielsweise deutlich bei der Darstellung von Wanderkrankungen der hirnzuführenden Arterien. Arteriosklerotische Plaques, bewegliche Thromben (► **Video 1**), Entzündungen bei der Takayasu- oder Riesenzellararteriitis lassen sich mit Ultraschall in unvergleichbar hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung darstellen. Es ist daher sinnvoll verschiedene bildgebende Verfahren zu kombinieren, um präzise Aussagen zur Pathogenität einer Gefäßwanderkrankung oder zur Dynamik eines Verschlussprozesses (s. unten) zu gewinnen.

## Zuverlässigkeit der Neurosonografie

Mittels transkranieller Farbduplexsonografie (TCCS) sind Verschlüsse der großen intrazerebralen Arterien des Circulus arteriosus Willisii mit sehr hoher Sensitivität und ausgezeichneter Spezifität identifizierbar [3, 4]. Ein Verschluss des ACM-Hauptstamms ist anzunehmen, wenn trotz guter Darstellung der ipsi- und kontra-lateralen ACA bzw. kontralateralen ACM sich ipsilateral die ACM nicht darstellen lässt. Bei fehlendem temporalem Schallfenster, aber auch zur schnelleren Diagnosefindung können Echoverstärker die Diagnose erleichtern [5]. Wie jede andere anspruchsvolle Methode ist auch die Ultraschalldiagnostik „untersucherabhängig“. Dies gilt aber auch für andere angiografische Verfahren, angefangen von der Erfahrung der medizinisch-technischen radiologischen Assistenten (MTRA) in der Positionierung des Patienten und der Messfelder, über das Timing des Kontrastmittelbolus, Auswahl geeigneter Sequenzen bis hin zur Auswertung der Bilder durch einen Radiologen, der hierfür eine jahrelange fachärztliche Weiterbildung absolviert hat.

## Die „Fast-Track“-Untersuchung

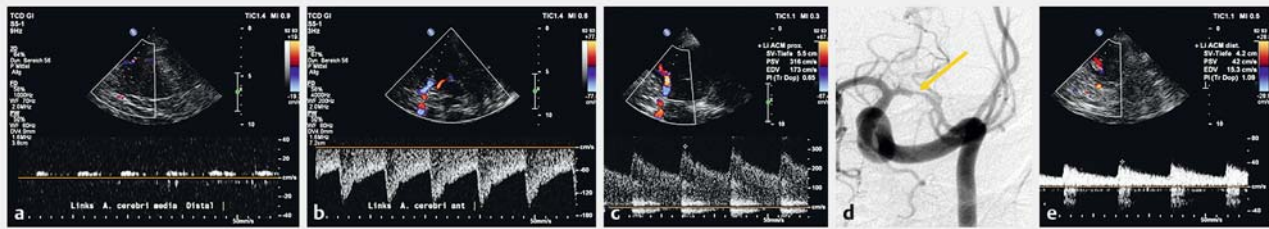
Die Diagnostik in der Akutphase des Hirninfarktes steht unter einem strikten Diktat der Zeit. Ist initial keine ausreichende Gefäßdarstellung mittels CT oder gar MRT möglich, kann die schnelle Ultraschalluntersuchung das weitere Procedere bestimmen, z. B. ob eine Untersuchung mithilfe einer Sedierung notwendig ist oder ob Kontrastmittel trotz Nierenerkrankung gegeben werden sollte. „Fast-Track“ heißt konkret, dass

1. der Untersuchungsablauf fokussiert wird auf das symptomatische Gefäßterritorium,
2. für die Planung der Untersuchungsschritte einschlägige klinische Kompetenz erforderlich ist,
3. die Untersuchung ggf. auch erst nach Start der Therapie erfolgt, um einen frühestmöglichen Behandlungsbeginn sicherzustellen,
4. die Notfalldiagnostik trotz Zeitdruck sowohl extra- wie auch intrakraniell erfolgen muss,
5. die Farbduplexsonografie verwendet wird, die einen anatomischen Überblick erlaubt und insbesondere auch die Diagnostik von Gefäßverschlüssen maßgeblich vereinfacht und beschleunigt. Außerdem ist damit eine eindeutige Befunddokumentation per Knopfdruck möglich.
6. auch unruhige, verwirrte oder aphasische Patienten mit etwas Geduld untersucht werden können.

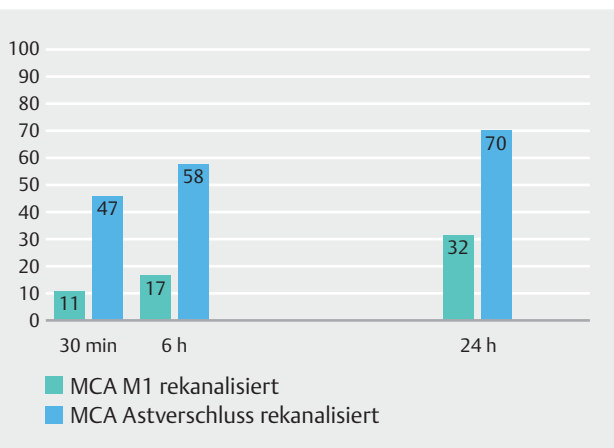
## Ultraschallbefunde in der Akutphase des Hirninfarktes

Jedem Hirninfarkt liegt der Verschluss eines Hirngefäßes zugrunde. Abgesehen von lakunären Infarkten kann dieser umso häufiger nachgewiesen werden, je früher die neurovaskuläre Untersuchung erfolgt. Seit Einführung der Angiografie ist bekannt, dass je nach Patientenkollektiv in den ersten Stunden in bis zu 70% der Fälle intrakranielle Gefäßverschlüsse nachzuweisen sind. Für distale Astverschlüsse existieren mit der Angiografie korrelierte Kriterien: Sind zwei oder mehr M2-Segmente verschlossen, besteht eine deutliche Seitendifferenz der Strömungsgeschwindigkeiten in der proximalen ACM von mehr als 21% („Zanette-Index“) im Vergleich zur nicht betroffenen Seite. Im Farbmodus nicht darstellbare distale Äste der ACM sind hingegen kein Kriterium, einen Astverschluss anzunehmen.

Rekanalisierende Verschlüsse sind typische Befunde in der Akutphase des ischämischen Schlaganfalls (► **Abb. 1**). Innerhalb der ersten Stunden nach Symptombeginn tritt bei distalen ACM-Astverschlüssen häufig eine spontane Rekanalisation ein, während bei Karotis-T- oder ACM-Hauptstammverschlüssen in diesem Zeitraum nur mit einer geringen Spontanrekanalisationsrate zu rechnen ist (► **Abb. 2**) [6, 7]. Dies impliziert, dass in der Akutphase eines Hirninfarktes individuell sehr variable hämodynamische Bedingungen vorliegen können. Diese sind klinisch nicht erkennbar, aber neurosonografisch unmittelbar nachzuweisen. Auch fluktuierende Verschlussprozesse kommen vor. Die beschriebenen pathophysiologischen Mechanismen erklären, dass Ultraschalluntersuchungen zur Klärung der Schlaganfallursache **so rasch wie möglich nach Eintritt des In-**



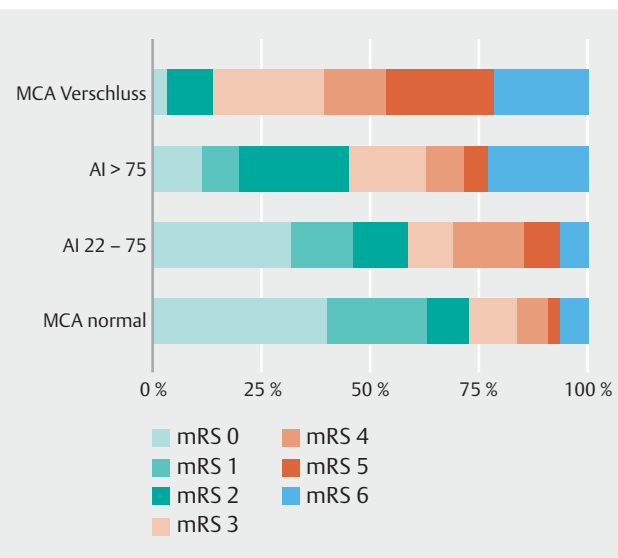
► **Abb. 1** Rekanalisation einer A. cerebri media: **a** Verschluss der ACM, **b** Strömungsbeschleunigung im ipsilateralen A1-Segment der ACA als Ausdruck einer aktivierten leptomeningealen Kollateralisation, **c** 4 Tage später hochgradige Stenose im M1-Segment der ACM, **d** Darstellung mittels DSA (Pfeil), **e** am folgenden Tag Normalisierung der Strömung im M1-Segment.



► **Abb. 2** Sonografische Verlaufsuntersuchung an 99 Patienten, die mit i. v. Lyse therapiert wurden. Rekanalisationsraten (%) nach 30 Minuten, nach 6 und 24 h. Astverschlüsse (blau) rekanalisieren häufiger als M1-Verschlüsse (grün). Eine späte Rekanalisation bis zu 24 h war gegenüber nicht-rekanalisierten Fällen noch mit einem besseren mRS nach 3 Monaten verbunden („Better late than never“) [6].

sultes durchgeführt werden müssen und nicht zu einem späteren Zeitpunkt. Folgeuntersuchungen zu einem späteren Zeitpunkt ergeben dann zusätzliche wichtige Informationen zur Ätiologie. Zum Beispiel dadurch, dass Veränderungen zum frühen Initialbefund festgestellt werden (spontanen Rekanalisationen liegen meist embolische Verschlüsse zugrunde). Zudem erlaubt der initiale Gefäßbefund eine sehr frühe prognostische Aussage zum weiteren klinischen Verlauf (► **Abb. 3**) [8].

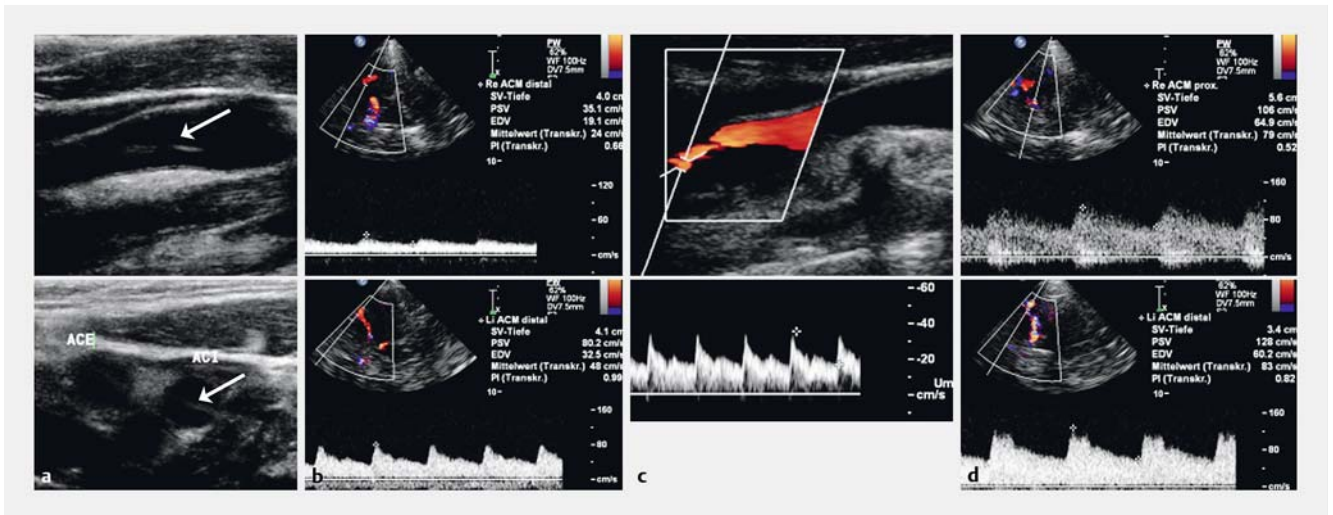
Weiterhin müssen symptomatische Karotistenosen umgehend, d. h. möglichst schon direkt bei Aufnahme der Patienten, erfasst werden, um in der weiteren Behandlungsplanung so früh wie möglich über eine Intervention zu entscheiden. Die Kombination aus der B-Bild sonografischen Plaquecharakterisierung zur Abschätzung des Embolierisikos und der Dopplersonografischen Abschätzung der hämodynamischen Veränderungen (u. a. über Messung der Kollateralkreisläufe) erklärt eindrucksvoll den Pathomechanismus symptomatischer ACI-Stenosen und kann die frühe medikamentöse Sekundärprophylaxe bestimmen [9–11].



► **Abb. 3** In der multizentrischen, prospektiven NAIS Study wurden 361 Patienten innerhalb von 6 h sonografisch extra- und transkraniell untersucht. Von diesen hatten 121 (34%) einen normalen ACM-Befund, 176 (48%) hatten Astverschlüsse, 7 (2%) hatten eine hochgradige ACM-Stenose und 57 (16%) einen M1-Verschluss. Es bestand eine fast lineare Beziehung mit dem klinischen Zustand (mRS) nach 3 Monaten: Je mehr Äste verschlossen waren, desto geringer die Wahrscheinlichkeit einer geringen Behinderung. Damit lässt sich bereits in der Aufnahmesituation eine belastbare prognostische Aussage treffen. (AI = Asymmetrie-Index nach Zanette) (modifiziert nach [8]).

## Verlaufsuntersuchungen auf der Stroke Unit und „Stroke mimics“

Durch die Möglichkeit der Untersuchung in Echtzeit, die einfache Anwendung am Patientenbett und die bedarfsweise beliebige Wiederholbarkeit ermöglicht die TCCS ein effektives Monitoring rekanalisierender Therapien und spontaner Befundänderungen. Mit dem TIBI-Score („Thrombolysis in Brain Ischemia“) und dem COGIF-Score („Consensus on Grading Intracranial Flow Obstruction“) wurden zwei Ultraschall-basierte Scores entwickelt, die es erlauben, Rekanalisationserfolge zu quantifizieren, aber auch fehlende Therapieerfolge, Reokklusionen



► **Abb. 4** Ein 44-jähriger Patient berichtete über plötzlich auftretende Sehstörungen beim Schwimmen. Kurz danach trat eine schwere Hemiparese der linken Körperseite auf. Ca. 1 h später lag bei stationärer Aufnahme ein schweres Mediasyndrom mit Hemiplegie und Neglect vor. **a** Farbduplexsonografisch bestand ein Verschluss der A. carotis interna rechts in Folge einer Dissektion (weißer Pfeil auf Dissektionsmembran, oben im Längsschnitt, unten im Querschnitt). **b** Hämodynamisch Minderperfusion im rechten Medialstrombahngebiet mit gedämpfter Strompulskurve (oben). A. cerebri media links normal perfundiert (unten), fehlende Kollateralisierung. MR-tomografisch waren Infarzierungen in der vorderen rechten Grenzzone erkennbar. **c** Im Verlauf 5 Tage später spontane Rekanalisation der A. carotis interna rechts. **d** Postischämisches Hyperperfusionssyndrom in der A. cerebri media rechts nach Karotisrekanalisation (oben). Normale A. cerebri media links zum Vergleich (unten). Initial wurde nach Lyse aufgrund der hämodynamisch kritischen Situation zunächst eine sog. „Triple H“-Therapie eingeleitet, nach extrakranieller Rekanalisation erfolgte aufgrund der Hyperperfusion die therapeutische Kehrtwendung.

oder hämodynamisch kritische Situationen zu erfassen um darauf frühzeitig reagieren zu können (► **Abb. 4**) [6, 12, 13]. Ein teilrekanalisierter Embolus zeigt in der Akutphase oft den typischen Befund einer intrakraniellen Stenose (► **Abb. 1**). Eine Abnahme des Stenosegrades oder eine Normalisierung der Strömungsverhältnisse in den Folgetagen grenzt den Befund von einer atherosklerotisch bedingten Stenose ab. Im Falle einer – nicht seltenen – bereits vor der Initialdiagnostik erfolgten spontanen Rekanalisation kann der Nachweis einer funktionellen postischämischen Hyperämie im symptomatischen Gefäßabschnitt Hinweise auf die zugrunde liegende Pathophysiologie liefern.

Unter der Diagnose „Schlaganfall“ verbergen sich nach übereinstimmenden Erfahrungen ca. 15–30% sog. „Stroke mimics“. In der Notfallaufnahme gehören hierzu neben vielen anderen Möglichkeiten Patienten mit Todd’scher Parese nach einem epileptischen Anfall, Migräneattacken mit Aurasymptomen, Somatisierungsstörungen, Elektrolyt- und Blutzuckerentgleisungen oder peripher vestibuläre Störungen. Ein pathologischer Ultraschallbefund im „Fast track“ ist dabei ein wichtiger Befund, der gegen einen „Stroke mimic“ sprechen kann [14].

## Mobile Thromben und Dissektionen

Neben der exakten Lokalisation eines ACI-Verschlusses – proximal vs. distal – kann bildgebend eine genauere Beurteilung der zugrunde liegenden Pathologie erfolgen. Die Darstellung eines mobilen Thrombus bei Aufnahme (► **Video 2**) ist für die weitere Therapieplanung relevant und kann im Einzelfall eine akute Intervention rechtfertigen [15–17]. Systematische Untersu-

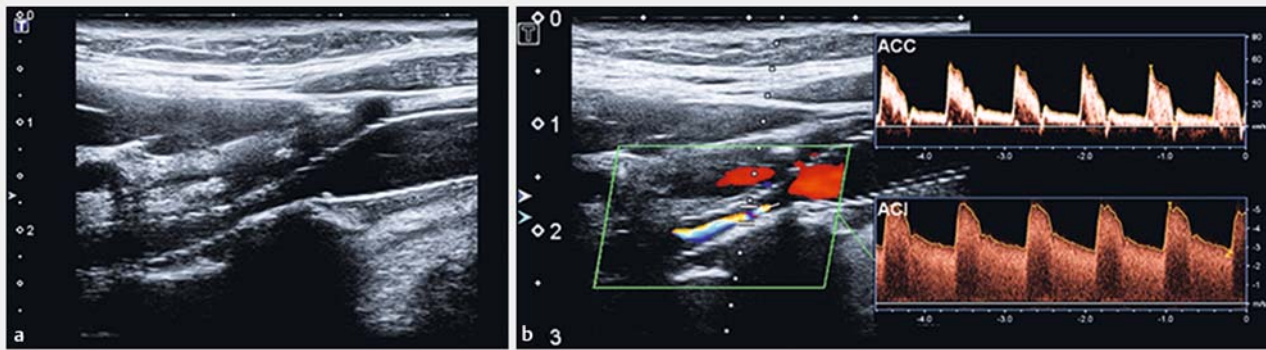
**VIDEO**

<https://doi.org/10.1055/s-0043-109689>

► **Video 2** Flottierender lumenverschließender Thrombus mit distalem (kranialem) Ausläufer auf dem Boden einer frischen Plaque-ruptur. Nach initialer Lysetherapie wurde aufgrund dieses Befundes eine PTT-wirksame Heparinisierung angeschlossen, die zusammen zu einer Rekanalisation bzw. Demaskierung einer 90% Abgangstenose (nach NASCET) führte.

chungen zur bestmöglichen Behandlung flottierender Thromben sind rar, weil diese nur mittels Ultraschall „online“ detektierbar sind und der Routinediagnostik mit CT- oder MR-Angiografie entgehen.

Eine spontane Dissektion der großen extrakraniellen hirnversorgenden Arterien ist in proximalen Gefäßabschnitten in vielen Fällen sonografisch anhand eindeutiger Wandveränderungen festzustellen [14–18]. Dissektionen in Höhe der Schädelbasis hingegen sind schwierig zu diagnostizieren, bei stärkerer Lumeneinengung finden sich Zeichen eines erhöhten peripheren Strömungswiderstandes und poststenotische Veränderungen intrakraniell. Nach der aktuellen Fortschreibung der Leitlinien ist die duale bildgebende Diagnostik mittels MRT mit T1-gewichteten, fettsupprimierten axialen Sequenzen und



► **Abb. 5** In-Stent-Stenose der A. carotis interna. **a** Inkomplette Entfaltung des Stents. **b** Nachweis einer Flussbeschleunigung auf 500/300 cm/s (systolischer/diastolischer Maximalfluss). Die relativ gering ausgebildeten Strömungsstörungen mit erhaltenem systolischem Fenster und fehlender niederfrequenter Anteile zeigen an, dass die alleinige Beurteilung der Flussgeschwindigkeiten den Stenosegrad einer In-Stent-Stenose überschätzt.

neurovaskulärem Ultraschall weiterhin die Diagnostik der ersten Wahl, der Stellenwert der CT-Angiografie als reliable Alternative zum MRT hat allerdings zugenommen [19]. Der frühen Erstuntersuchung und weiteren sonografischen Verlaufskontrollen kommt wegen der Krankheitsdynamik in der Akutphase (sowohl Progredienz als auch häufig Rekanalisation) besondere Bedeutung zu, da hierbei ggf. Dissektionen an weiteren Arterien oder progrediente Dissektionen detektiert werden, die eine individuelle Anpassung der Sekundärprophylaxe, Blutdrucktherapie und Verlängerung der Monitorüberwachung erforderlich machen (► **Abb. 4**).

Der Nachweis einer proximalen linksseitigen Dissektion der A. carotis communis (ACC) ist pathognomonisch für eine Aortendissektion und selbst für einen eher unerfahrenen Untersucher leicht erkennbar [20]. Ein Patient mit einer in die ACC fortgesetzten Aortendissektion ist vital bedroht und muss von einer Notaufnahme ohne Umwege in eine Kardiochirurgie verlegt werden.

## Entzündliche Hirngefäßerkrankungen

Die Riesenzellarteritis (RCA) ist die häufigste primär systemische Vaskulitis. Da ihre Prädilektionsstellen die mittelgroßen bis großen Arterien, vor allem die Äste der A. carotis externa (ACE) sind, findet man hier wegweisende Befunde. Auch intrakranielle Arterien, insbesondere die A. vertebralis können betroffen sein. Die extrakraniellen Äste der ACE sollten möglichst langstreckig untersucht werden. Pathognomonisch und mit einer sehr hohen Spezifität (97%) ist das hypoechogene Gefäßwandödem (sog. „Halo Sign“). Die diagnostische Sensitivität liegt deutlich über 80%, sodass bei eindeutigem Ultraschallbefund ohne Gefäßbiopsie direkt mit der Steroidtherapie begonnen werden sollte [21]. Zusätzlich kann nach lokalen Stenosen (Flussbeschleunigungen) geschaut werden, welche auch ohne Nachweis des Gefäßwandödems, zum Beispiel nach Beginn einer Steroidbehandlung oder bei fehlender Atherosklerose, als starker Beleg für das Vorliegen einer Vaskulitis dienen können. In diesem Zusammenhang ist die Duplexsonografie besonders

sinnvoll bei Patienten, die mit einem akuten Visusverlust zugewiesen werden, da die RCA häufig die hinteren Ziliararterien betrifft und so zu einer anterioren ischämischen Optikusneuropathie (AION) führt und nur selten die Zentralarterie verschließt. Der embolische Zentralarterienverschluss als wesentliche Differenzialdiagnose zur RCA lässt sich duplexsonografisch in der transorbitalen Sonografie als echoreicher Zentralarterienverschluss (sogenanntes „Spot Sign“) innerhalb des proximalen Abschnitts des Sehnerven darstellen und scheint ein hochvalider prognostischer Faktor für thrombolytische Therapien zu sein [22, 23]. Die sonografische Darstellung der retroorbitalen Arterien gilt als Alleinstellungsmerkmal der Methode.

## Ultraschalldiagnostik nach postinterventionellen Komplikationen

Nicht selten werden Patienten mit akut symptomatischer Karotisstenose nach der Versorgung mittels Karotisendarterektomie (CEA) oder Karotisangioplastie mit Stentimplantation (CAS) auf der Stroke Unit weiterbehandelt. In der unmittelbar postoperativen Ultraschalluntersuchung nach CEA gilt es, technische Fehler und Komplikationen wie Nahteinziehungen, Intimastufen, Dissektionen, Pseudoaneurysmen, Thromben und Rest-Stenosen nachzuweisen, die möglicherweise Re-Interventionen erfordern [24, 25]. Dabei sind die Untersuchungsbedingungen oft noch durch Schwellungen bzw. Hämatome im Bereich der Wunde erschwert.

Frühe Komplikationen nach CAS sind insbesondere eine unvollständige Entfaltung des Stents mit hieraus resultierender In-Stent-Stenose (ISS) (► **Abb. 5**) oder gar dessen Verschluss. Generell gilt für die Verlaufskontrolle, dass bei Anwendung von konventionellen Kriterien für Karotisstenosen (v. a. systolische Spitzen- [PSV] aber auch enddiastolische Geschwindigkeit [EDV]) ISS systematisch überschätzt werden [26–28]. Lal und Mitarbeiter schlugen daher modifizierte Schwellenwerte unter Einbeziehung des ACI/ACC-Stenoseindex vor [27]). Zusätzlich sollten die herkömmlichen Kriterien wie prä- und poststenoti-

sche Strömungsveränderungen sowie Aktivierung von Kollateralkreisläufen berücksichtigt werden [29, 30].

Ursächlich für die erhöhten Flussgeschwindigkeiten in der stentversorgten ACI scheinen neben der Verringerung des Gefäßdurchmessers nach Einbringung des Stents vor allem auch eine verminderte Compliance [26, 31] und eine veränderte Geometrie des Gefäßes zu sein [32]. Longitudinale Ultraschalluntersuchungen von 82 Patienten mit stentversorgter ACI zeigten, dass postinterventionell moderat erhöhte Flussgeschwindigkeiten im Stent (PSV  $98,5 \pm 21$  cm/s, EDV  $25,5 \pm 8,1$  cm/s) über 1 Jahr stabil blieben, was gegen eine initiale Hyperperfusion nach CAS als Ursache für die erhöhten Flussgeschwindigkeiten spricht [33]. Pragmatisch empfiehlt sich eine frühe Basis-Ultraschalluntersuchung in den ersten Tagen nach Stent-Implantation, die für die Verlaufsbeobachtungen herangezogen werden kann, um dann auch spätere Komplikationen wie eine Hyperplasie der Neointima oder die Ausbildung einer Neoarteriosklerose zu quantifizieren.

## Diskussion

Ausgangspunkt für die Initiative zu diesem Artikel war die Mitteilung der DSG, dass für die Abrechnung einer Schlaganfallkomplexbehandlung laut DIMDI (Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information) eine Ultraschalluntersuchung während des Stroke-Unit-Aufenthaltes dann nicht mehr obligat ist, wenn ein anderes bildgebendes Verfahren zur Darstellung der hirnversorgenden Gefäße vorgenommen wurde. Ohne Zweifel stellt die obligate Forderung nach einer frühen Gefäßdiagnostik einen Fortschritt dar und ist für die Therapieentscheidung der endovaskulären Thrombendarterektomie unabdingbar. Die neue OPS-Formulierung suggeriert aber auch, dass Methoden zur neurovaskulären Bildgebung austauschbar sind, und dass die Ultraschalldiagnostik auch ebenso gut zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden kann, wenn nicht sogar verzichtbar ist. Ziel des vorliegenden Artikels ist es daher noch einmal die Alleinstellungsmerkmale der Sonografie zu beschreiben und darzulegen, wie dadurch das Verständnis der individuellen Pathophysiologie optimal erfasst werden kann, und welchen hohen Wert sie somit unverändert für die qualifizierte Versorgung akuter Schlaganfallpatienten hat [2]. Es wäre ein arger Kollateralschaden, wenn gleichzeitig mit der erfolgreichen Verbreitung der Thrombektomie das über Jahre mühsam etablierte Stroke-Unit-Konzept durch Verzicht auf die Neurosonografie ausgedünnt würde.

Nach Eintritt eines ischämischen Schlaganfalls laufen in dem betroffenen Gefäßsegment und den dazugehörigen Kollateralwegen komplexe, individuell unterschiedliche, hämodynamische Umstellungsprozesse ab, die für das Schicksal des Patienten entscheidend sind. Verschlüsse können persistieren, partiell oder komplett rekanalisieren, kollateral kompensiert werden oder nach Rekanalisation wieder re-okkludieren (► **Abb. 2**). Diese Prozesse in den ersten Stunden können mittels Ultraschall wie mit keiner anderen Methode engmaschig verfolgt werden. Je **früher** die Untersuchung erfolgt, desto aufschlussreicher sind die Befunde, desto größer ist das individuelle pathophysiolo-

gische Verständnis und desto größer ist der Nutzen für therapeutische Entscheidungen.

Für die Alltagsdiagnostik der akuten Schlaganfallversorgung setzt sich zunehmend die „one-stop-shop“-Strategie durch, mit der die apparative Schlaganfalldiagnostik an die Neuroradiologie delegiert wird und die medikamentöse Sekundärprophylaxe internistisch geleitet wird. Die Neurosonologie macht insofern einen Unterschied: Sie ist als apparative Kernkompetenz der Neurologen allgemein akzeptiert und ein spezielles Qualitätsmerkmal **hochwertiger** Schlaganfallbehandlung. Bedingt durch den enormen technologischen Fortschritt stehen der Neurologie in der Schlaganfalldiagnostik hervorragende Bildgebungsmethoden zur Verfügung, die je nach klinischer Fragestellung und Verfügbarkeit indiziert und parallel oder komplementär einsetzbar sind. Die Demonstration eindrucksvoller Ultraschallbefunde parallel zu radiologischen Befunden in der täglichen „Röntgenbesprechung“ wäre ein sinnvoller Schritt, um die Neurosonologie im Bewusstsein der Neurologen stärker zu verankern. Während CT- und MRT-Diagnostik jahrelange fachärztliche Weiterbildung voraussetzen, erlernen Neurologen diese Methode formal im Rahmen der normalen Weiterbildung. Leider bleibt dafür bedingt durch die immer weiter zunehmende Leistungsverdichtung immer weniger Zeit.

Die beanspruchte besondere Kompetenz der Neurologen für die Behandlung von Schlaganfallpatienten ist letztlich nicht dadurch zu begründen, dass diagnostische Anforderungen für andere Fachdisziplinen ausgefüllt werden. Ziel dieses Artikels ist es daher, Neurologinnen und Neurologen dazu zu motivieren, sich in der **Akutphase** des Schlaganfalls mit der Neurosonologie intensiver zu befassen und sich selbst ein Bild zu machen, anstatt sich „ein Bild machen zu lassen“. Die Neurosonografie vermittelt im Sinne einer individualisierten Medizin sehr spezifische neurovaskuläre Informationen, die Neurologen nutzen sollten, wenn sie mit Neuroradiologen, Gefäßchirurgen und Kardiologen komplexe Schlaganfallpatienten besprechen, und sollte weiterhin unverzichtbarer Bestandteil des erfolgreichen Stroke-Unit-Konzepts bleiben.

## Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Englische Version

Dieser Beitrag wurde auf Englisch publiziert in *Neurology International Open* 2017; 1: E182–E188.

## Literatur

- [1] Leys D, Ringelstein EB, Kaste M et al. The main components of stroke unit care: results of a European expert survey. *Cerebrovasc Dis* 2007; 23: 344–352
- [2] Ringelstein EB, Busse O, Ritter MA. Das Stroke-Unit-Konzept in Deutschland und Europa. *Nervenheilkunde* 2010; 29: 836–842
- [3] Gerriets T, Goertler M, Stolz E et al. Feasibility and validity of transcranial duplex sonography in patients with acute stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2002; 73: 17–20
- [4] Herzberg M, Boy S, Holscher T et al. Prehospital stroke diagnostics based on neurological examination and transcranial ultrasound. *Crit Ultrasound J* 2014; 6: 3
- [5] Postert T, Federlein J, Przuntek H et al. Insufficient and absent acoustic temporal bone window: potential and limitations of transcranial contrast-enhanced color-coded sonography and contrast-enhanced power-based sonography. *Ultrasound Med Biol* 1997; 23: 857–862
- [6] Wunderlich MT, Goertler M, Postert T et al. Recanalization after intravenous thrombolysis: does a recanalization time window exist? *Neurology* 2007; 68: 1364–1368
- [7] Xu Y, Qian G, Wei L et al. Predictive factors for the spontaneous recanalization of large and middle cerebral arteries after acute occlusion. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2016; 25: 1896–1900
- [8] Allendoerfer J, Goertler M, von Reutern GM et al. Prognostic relevance of ultra-early doppler sonography in acute ischaemic stroke: a prospective multicentre study. *Lancet Neurol* 2006; 5: 835–840
- [9] Shahidi S, Owen-Falkenberg A, Hjerpsted U et al. Urgent best medical therapy may obviate the need for urgent surgery in patients with symptomatic carotid stenosis. *Stroke* 2013; 44: 2220–2225
- [10] Arntzen KA, Schirmer H, Johnsen SH et al. Carotid artery plaque progression and cognitive decline: the Tromso Study 1994–2008. *Eur J Neurol* 2012; 19: 1318–1324
- [11] Markus HS, Droste DW, Kaps M et al. Dual antiplatelet therapy with clopidogrel and aspirin in symptomatic carotid stenosis evaluated using doppler embolic signal detection: the Clopidogrel and Aspirin for Reduction of Emboli in Symptomatic Carotid Stenosis (CARESS) trial. *Circulation* 2005; 111: 2233–2240
- [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
- [13] Demchuk AM, Burgin WS, Christou I et al. Thrombolysis in brain ischemia (TIBI) transcranial Doppler flow grades predict clinical severity, early recovery, and mortality in patients treated with intravenous tissue plasminogen activator. *Stroke* 2001; 32: 89–93
- [14] Hand PJ, Kwan J, Lindley RI et al. Distinguishing between stroke and mimic at the bedside: the brain attack study. *Stroke* 2006; 37: 769–775
- [15] Herzig R, Skoloudik D, Kral M et al. Ultrasonographic and perioperative macroscopic findings in acute carotid artery occlusion. *J Neuroimaging* 2011; 21: 5–9
- [16] Weis-Muller BT, Spivak-Dats A, Turowski B et al. Time is brain? Surgical revascularization of acute symptomatic occlusion of the internal carotid artery up to one week. *Ann Vasc Surg* 2013; 27: 424–432
- [17] Hill SL, Brozyna W. Extensive mobile thrombus of the internal carotid artery: a case report, treatment options, and a review of the literature. *Am Surg* 2005; 71: 853–855
- [18] Vicenzini E, Giannoni MF, Ricciardi MC et al. Noninvasive imaging of carotid arteries in stroke: emerging value of real-time high-resolution sonography in carotid occlusion due to cardiac embolism. *J Ultrasound Med* 2010; 29: 1635–1641
- [19] Ringelstein EB, Dittrich R, Sitzer M et al. Spontane Dissektionen der extra- und intrakraniellen hirnversorgenden Arterien. *Akt Neurol* 2016; 43: 418–427
- [20] Seliger C, Turmanidze N, Schmid E et al. Three cases of stroke in patients with atypical presentation of type a aortic dissection – potential of neurosonography in the early diagnosis of atypical stroke. *Ultraschall Med* 2011; 32: 619–621
- [21] Schmidt WA, Blockmans D. Use of ultrasonography and positron emission tomography in the diagnosis and assessment of large-vessel vasculitis. *Curr Opin Rheumatol* 2005; 17: 9–15
- [22] 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
- [23] Ertl M, Altmann M, Torka E et al. The retrobulbar “spot sign” as a discriminator between vasculitic and thrombo-embolic affections of the retinal blood supply. *Ultraschall Med* 2012; 33: E263–267
- [24] van der Kolk AG, de Borst GJ, Jongen LM et al. Prevalence and clinical consequences of carotid artery residual defects following endarterectomy: a prospective CT angiography evaluation study. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2011; 42: 144–152
- [25] Budincevic H, Ivkovic A, Martinac M et al. Asymptomatic dissecting intimal lesions of common carotid arteries after carotid endarterectomy. *Surg Today* 2015; 45: 1227–1232
- [26] Lal BK, Hobson RW2nd, Goldstein J et al. Carotid artery stenting: is there a need to revise ultrasound velocity criteria? *J Vasc Surg* 2004; 39: 58–66
- [27] Lal BK, Hobson RW2nd, Tofighi B et al. Duplex ultrasound velocity criteria for the stented carotid artery. *J Vasc Surg* 2008; 47: 63–73
- [28] Nederkoorn PJ, Brown MM. Optimal cut-off criteria for duplex ultrasound for the diagnosis of restenosis in stented carotid arteries: review and protocol for a diagnostic study. *BMC Neurol* 2009; 9: 36
- [29] 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
- [30] von Reutern GM, Goertler MW, Bornstein NM et al. Grading carotid stenosis using ultrasonic methods. *Stroke* 2012; 43: 916–921
- [31] Hakimi M, Knez P, Lippert M et al. Altered in-stent hemodynamics may cause erroneous upgrading of moderate carotid artery restenosis when evaluated by duplex ultrasound. *J Vasc Surg* 2012; 56: 1403–1408
- [32] Kamenskiy AV, Pipinos II, Dzenis YA et al. Effects of carotid artery stenting on arterial geometry. *J Am Coll Surg* 2013; 217: 251–262
- [33] Kim ES, Sun Z, Kapadia S et al. Characteristics of duplex sonographic parameters over time after successful carotid artery stenting. *J Ultrasound Med* 2012; 31: 1169–1174
- [34] Kaps M, Stolz E, Allendoerfer J. Prognostic value of transcranial sonography in acute stroke patients. *Eur Neurol* 2008; 59 (Suppl. 01): 9–16