

Ultraschallkriterien zur Graduierung von Stenosen der A. carotis interna – Revision der DEGUM-Kriterien und Transfer in NASCET-Stenosierungsgrade

Revision of DEGUM Ultrasound Criteria for Grading Internal Carotid Artery Stenoses and Transfer to NASCET Measurement

Authors

C. Arning¹, B. Widder², G. M. von Reutern³, H. Stiegler⁴, M. Görtler⁵

Affiliations

- ¹ Abt. Neurologie, Asklepios Klinik Wandsbek, Hamburg
² Klinik für Neurologie und Neurologische Rehabilitation, Bezirkskrankenhaus Günzburg
³ Neurologische Praxis, Bad Nauheim
⁴ Klinik für Angiologie, Klinikum Schwabing, München
⁵ Klinik für Neurologie, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg

Key words

- carotid arteries
- vascular
- ultrasound color Doppler
- ultrasound Doppler

Zusammenfassung

Die Ultraschallkriterien zur Graduierung von Karotisstenosen bezogen sich in Deutschland bisher auf die lokale Durchmesserreduktion, entsprechend der in der europäischen ECST-Studie benutzten Definition. Um die Konfusion durch verschiedene nebeneinander benutzte Stenosegrad-Definitionen zu beseitigen, hat die interdisziplinäre S3-Leitlinienkonferenz „Karotisstenose“ nun die einheitliche Verwendung der in der amerikanischen NASCET-Studie verwendeten Graduierungssystematik (distaler Stenosegrad) empfohlen. Die erstmals 1986 publizierten Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin (DEGUM) wurden deshalb in NASCET-Stenosegrade transferiert. In Ergänzung der bisherigen Kriterien wird eine Einteilung in Haupt- und Zusatzkriterien vorgeschlagen und es werden neue Kriterien der farbkodierten Duplexsonografie eingefügt. Bei kombinierter Anwendung dieser Kriterien erlaubt der Ultraschall eine zuverlässige Stenosegraduierung der A. carotis interna. Dies gilt auch für eine Graduierung entsprechend der NASCET-Definition.

Abstract

Since 1986, German ultrasound criteria for grading carotid stenosis have followed the local diameter reduction percentage consistent with the definition used in the European Carotid Surgery Trial (ECST) definition. To overcome the confusion caused by the coexisting grading method used in the North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET), a German interdisciplinary council on carotid artery stenosis has recommended the implementation of the NASCET grading system (distal diameter reduction percentage) as the standard. The multi-parametric German “DEGUM ultrasound criteria” consisting of combined Doppler and imaging criteria have consequently been revised and transferred to the NASCET definition. In addition, a novel differentiation between main (primary) and additional (secondary) criteria has been proposed. When these ultrasound criteria are combined, vascular sonography allows reliable grading of carotid disease.

received 2.1.2010
 accepted 1.3.2010

Bibliography

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0029-1245336>
 Published online: April 22, 2010
 Ultraschall in Med 2010; 31:
 251–257 © Georg Thieme
 Verlag KG Stuttgart · New York ·
 ISSN 0172-4614

Correspondence

Prof. Christian Arning
 Abt. Neurologie, Asklepios Klinik
 Wandsbek, Hamburg
 Alphonsstr. 14
 22043 Hamburg
 Tel.: ++ 49/40/18 18 83 14 14
 Fax: ++ 49/40/18 18 83 16 31
 c.arning@asklepios.com

Einleitung

Der Stenosegrad ist ein Hauptkriterium für die Entscheidung über invasive oder nicht invasive Behandlung extrakranieller Stenosen der A. carotis interna [1]. Bei asymptomatischen Stenosen gilt darüber hinaus die rasche Zunahme des Stenosegrads als Indikator für ein erhöhtes Schlaganfallrisiko [2]. Der Graduierung von Stenosen der A. carotis interna kommt also erhebliche Bedeutung zu. Es gibt bei der Stenosegradbestimmung nicht unerhebliche methodische Schwierigkeiten: Hauptproblem ist die unterschiedliche radiologische Stenosegrad-Definition des European Ca-

rotid Surgery Trial (ECST) und des North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET) [3, 4]: Nach ECST wird der Stenosegrad in Relation zum ursprünglichen Lumen, nach NASCET in Relation zum distalen Lumen der A. carotis interna bestimmt (● **Abb. 1**). Schon vor Publikation dieser Studien hat eine Arbeitsgruppe der Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin (DEGUM) in einer Zusammenstellung von Kriterien zur Bestimmung von Stenosegraden an der A. carotis interna die beiden morphologischen Bestimmungsmöglichkeiten einer Stenose als „lokal“ und „distal“ beschrieben [5]. Dabei wurde die lokale Stenosegraduierung bevorzugt, denn im

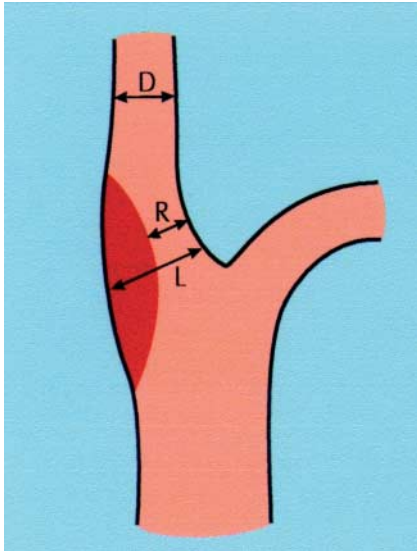


Abb. 1 Verschiedene Stenosegrad-Definitionen: Der lokale Stenosegrad (nach ECST) bezieht sich auf das ursprüngliche Lumen, der distale Stenosegrad (nach NASCET) auf das distale Lumen. D: distaler Gefäßdurchmesser, L: lokaler Gefäßdurchmesser, R: residualer Gefäßdurchmesser (nach [5]).

Fig. 1 Different methods for grading carotid stenosis: the percentage local diameter reduction (according to ECST) and percentage distal diameter reduction (according to NASCET). D: distal diameter, L: local diameter, R: residual diameter (according to [5]).

Ultraschallbild lässt sich das ursprüngliche Lumen gut erkennen; konsequenterweise bezogen sich die Stenosekriterien der DEGUM ebenfalls auf den lokalen Stenosegrad. Inzwischen hat sich für die radiologische Stenosegraduierung mit DSA, CTA und MRA die NASCET-Graduierung nicht nur international, sondern auch in Deutschland weitgehend durchgesetzt, während sich die Ultraschallkriterien weiterhin an ECST orientierten [6–8]. So kann dieselbe Stenose vom Radiologen mit 50% (nach NASCET) und vom Ultraschall-Untersucher mit 70% (entsprechend ECST) graduiert werden. Dieser scheinbare Widerspruch kann nur aufgelöst werden, wenn in den Befundmitteilungen die den Graduierungen zu Grunde liegenden unterschiedlichen Definitionen genannt werden.

Solange Ärzten dies Problem bewusst ist, kann eine Umrechnung von NASCET- auf ECST-Definition erfolgen [9]. Diese ist möglich nach der Formel: $ECST\% = 40 + 0,6 \times NASCET\%$ oder umgekehrt: $NASCET\% = (ECST - 40) / 0,6$. Wenn die verschiedenen Definitionen aber nicht beachtet werden, ist mit einer fehlerhaften Indikationsstellung zu Interventionen zu rechnen.

Um dieses Problem zu beseitigen, hat sich eine interdisziplinäre Expertengruppe bei der Vorbereitung der S3-Leitlinie „Karotisstenose“ darauf verständigt, in der Leitlinie nur noch die Graduierung anhand der NASCET-Definition zu verwenden. Dies bedeutet für Ultraschall-Anwender, dass sie die Ultraschallkriterien zukünftig in einem Stenosegrad entsprechend der NASCET-Definition angeben sollten. Bei abweichender Verwendung der ECST-Definition wäre dies eindeutig anzuzeigen. Ultraschall-Anwender sollten darüber hinaus beachten, dass bei einer planimetrischen Graduierung von Stenosen diese auf einer noch einmal anderen Stenosegrad-Definition beruht: Die Minderung des Gefäßquerschnitts (Planimetrie) darf nicht mit der Minderung des Durchmessers (Angiografie sowie Doppler-Kriterien, die sich an der Angiografie orientieren) verwechselt werden.

Wir nehmen die Anpassung der DEGUM-Stenosekriterien an die NASCET-Definition zum Anlass, den multiparametrischen Ansatz der DEGUM-Graduierung noch einmal ausführlich darzustellen. Anders als in der angloamerikanischen Literatur, die im wesentlichen einen Parameter (allenfalls ergänzt durch ein Zusatzkriterium) verwendet, um Stenosen oberhalb von 70% (NASCET) zu erfassen, beruht die DEGUM-Graduierung auf einem multiparametrischen Ansatz, der es ermöglicht, hochgradige Stenosen in 10-Prozent-Schritten zu beschreiben. Damit gelingt es, die Progredienz einer Stenose in Schritten mit einer zunehmenden hämodynamischen Beeinträchtigung zu erfassen: Die rasche Zunahme des Stenosegrads ist ein wichtiges prognostisches Kriterium bei asymptomatischen Karotisstenosen.

Dopplersonografische und Ultraschallbild-Kriterien

Hämodynamische Stenosekriterien werden mit Doppler-Sonografie und Duplex-Sonografie erfasst; hier sind direkte und indirekte Kriterien zu unterscheiden [10]. Direkte hämodynamische Kriterien beschreiben quantitative und qualitative Strömungsveränderungen im stenosierten Gefäßabschnitt und unmittelbar poststenotisch, sie sind ab einem Stenosegrad von ca. 20% (NASCET) nachweisbar. Stenosen ab einem Stenosegrad von ca. 70% nach NASCET führen außerdem zu einer Abnahme des Strömungsvolumens im betroffenen Gefäß, die in vor- oder nachgeschalteten Gefäßabschnitten als indirektes Stenosezeichen nachgewiesen werden kann. Ein weiteres indirektes Kriterium ist der Nachweis von Umgehungskreisläufen, denn diese bilden sich nur, wenn der reguläre Kreislauf hämodynamisch beeinträchtigt ist.

Ultraschallbild-Kriterien – B-Bild und Farbdoppler-Darstellung – sind relevant zum Nachweis geringer Stenosebefunde, wobei eine genauere Graduierung dieser geringen Stenosebefunde in Prozent Einengung nach NASCET nicht sinnvoll ist. Bei mittelgradigen und hochgradigen Stenosen sollte nicht versucht werden, den Stenosegrad aus dem B-Bild oder dem Farbdoppler-Bild im Längs- oder Querschnitt zu bestimmen: Im B-Bild ist die Abgrenzung des Restlumens durch Schattenwurf und andere Artefakte meist schwierig und im Farbdoppler-Bild ist die räumliche Auflösung der Farbdoppler-Methode unzureichend und stark von der Geräteeinstellung abhängig [11]. Das Farbdoppler-Bild ist aber wichtig für die Beurteilung der exakten Strömungsrichtung bei der Winkelkorrektur und die Unterscheidung zwischen Stenose und vollständigem Gefäßverschluss. Ein weiteres Bild-Kriterium ist das Konfetti-Zeichen, das Gewebsvibrationen distal von hochgradigen Stenosen im Farbdoppler-Bild darstellt.

Haupt- und Zusatzkriterien

Alle sonografischen Kriterien haben ihre Grenzen und können allein angewandt zu Fehlbeurteilungen führen. Der große Vorteil der multiparametrischen Stenosegraduierung liegt darin, dass sich die verschiedenen Kriterien ergänzen, sodass die zusammenfassende synoptische Bewertung aller Befunde eine Einteilung in mehrere gut abgrenzbare Stenosegrade möglich macht [12, 13]. Die einzelnen Kriterien haben eine unterschiedliche Zuverlässigkeit, sodass sie in Haupt- und Zusatzkriterien differenziert werden [6, 13].

Tab. 1 Stenosegraduierung der A. carotis interna.¹

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

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

Hauptkriterien sind die Darstellung des Stenosebefunds im B-Bild bzw. Farbdoppler-Bild (zum Nachweis geringer Stenosebefunde und zur Unterscheidung zwischen Stenose und Gefäßverschluss), die Messung der Strömungsgeschwindigkeit im Stenosemaximum (für mittelgradige und hochgradige Stenosen), die Messung der poststenotischen Strömungsgeschwindigkeit (zur Erkennung höchstgradiger Stenosen) sowie der Nachweis bzw. das Fehlen von Kollateralkreisläufen.

Als Zusatzkriterien werden indirekte Stenosezeichen an der A. carotis communis berücksichtigt, außerdem der Nachweis von Strömungsstörungen, die diastolische Strömungsgeschwindigkeit, das Konfetti-Zeichen und ggf. Stenoseindizes. Die Zusatzkriterien erhöhen die Sicherheit des Befunds, indem sie die Hauptkriterien ergänzen; sie haben besondere Bedeutung bei Mehrgefäßprozessen. Bei schlechten Untersuchungsbedingungen können sie im Einzelfall die Hauptkriterien teilweise ersetzen.

Auflistung wichtiger Stenosekriterien

A. Hauptkriterien (☉ Tab. 1, Nr. 1 – 5)

1. Darstellung des Stenosebefunds im B-Bild

Nicht stenosierende Plaques (bis 10% nach NASCET) werden im B-Bild dargestellt, eine prozentuale Graduierung nach NASCET ist nicht sinnvoll. Für Verlaufskontrollen sollte die Dokumentation der maximalen Dicke und Länge einer Plaque jeweils in der Schnittebene erfolgen, welche die Plaque in ihrer größten Ausdehnung darstellt, wenn möglich auch im Querschnitt.

2. Darstellung des Stenosebefunds im Farbdoppler-Bild

Geringgradige Stenosen (20–40% nach NASCET) werden im Farbdoppler-Bild durch die lokale Strömungsbeschleunigung mit dem bei geeigneter Geräteeinstellung hier auftretenden Alias-Effekt erkennbar und von nicht stenosierenden Plaques

differenziert. Dazu müssen der Schallwinkel durch Farbfensterkippung und die Pulsrepetitionsfrequenz (PRF) im Farbdoppler-Bild sorgfältig eingestellt werden: Wünschenswert ist ein Schallwinkel, der 60° nicht überschreiten sollte. Bei geringem Schallwinkel nimmt aber die Intensität des Farbdoppler-Signals ab, sodass (abhängig von der jeweiligen Untersuchungstiefe) für jedes Gefäß ein optimaler Schallwinkel gefunden werden muss. Auch die Einstellung der PRF muss individuell erfolgen, damit eine lokale Strömungsbeschleunigung durch einen lokalen Alias-Effekt sichtbar gemacht werden kann. Bei zu niedriger PRF-Einstellung sehen wir einen Alias-Effekt langstreckig im gesamten Gefäß, bei zu hoher PRF-Einstellung ist die lokale Strömungsbeschleunigung evtl. nicht mehr erkennbar. Die genauere Messung der lokalen Strömungsbeschleunigung erfolgt durch das Dopplerfrequenzspektrum. Auch mittel- und hochgradige Stenosen werden im Farbdoppler-Bild dargestellt, deren Graduierung und Differenzierung von geringgradigen Stenosen erfolgt wiederum anhand der Dopplerfrequenzspektren, d.h. durch Geschwindigkeitsmessung in der Stenose oder – bei einem Schallschatten im Stenosemaximum durch Gefäßkalk – im unmittelbar folgenden Gefäßabschnitt (s.u.). Für die Unterscheidung zwischen Stenose und vollständigem Gefäßverschluss ist wiederum das Farbdoppler-Bild (mit niedrig eingestellter PRF) das entscheidende Kriterium. Im Einzelfall kann zur Differenzierung zwischen filiformer Stenose und Verschluss mit Gefäßeinsprossung eine zusätzliche Ableitung des Doppler-Signals notwendig sein [14]. Bei tief im Gewebe liegenden Gefäßen kann auch ein Wechsel vom üblicherweise verwendeten hochfrequenten Schallkopf auf eine Schallsonde mit niedrigerer Sendefrequenz (z.B. Abdomen-Konvexschallkopf) hilfreich sein, um eine Restperfusion noch darstellen und das Gefäß möglichst langstreckig beurteilen zu können.

3. Messung der systolischen Spitzengeschwindigkeit im Stenosemaximum

Das Stenosemaximum wird im Farbdoppler-Bild bei geeigneter Einstellung der PRF (s.o.) durch den Alias-Effekt erkennbar;

mit der anschließend hier durchgeführten lokalen Ableitung des Doppler-Signals wird nach sorgfältiger Einstellung der Winkelkorrektur (Winkel zwischen Schallstrahl und Gefäß möglichst gering, maximal 60°) die systolische Spitzengeschwindigkeit mittels pw-Doppler gemessen. Die Winkelkorrektur sollte wegen der häufig irregulären Morphologie genau auf die Richtung der Jetströmung in oder unmittelbar kranial der Stenose eingestellt werden; um die Jetströmung und ihre Richtung im Farbdoppler-Bild genau abzubilden, ist eine sorgfältige Einstellung der PRF und des Farbdoppler-Winkels (beam steering) notwendig. Wenn die Stenose bei einem Schallauslöschungseffekt nicht direkt abgebildet werden kann, erfolgt die Doppler-Ableitung in der Jetströmung unmittelbar poststenotisch. Die Höhe der Spitzengeschwindigkeit korreliert mit dem Stenosegrad (► **Tab. 1**). Bei extrem hohen Stenosegraden kann die Strömungsgeschwindigkeit als Folge der dann stark reduzierten Stromstärke jedoch wieder niedrigere Werte annehmen. Die Jetströmung fehlt bei geringgradigen und ist bei höchstgradigen Stenosen stark verkürzt oder kann ebenfalls fehlen. Die Strömungsgeschwindigkeit ist auch abhängig von der Längenausdehnung der Stenose: bei sehr kurzstreckigen Stenosen sind die Werte höher, bei sehr langstreckigen Stenosen niedriger als in ► **Tab. 1** angegeben; dies wirkt sich bei Stenosen ab etwa 50% nach NASCET aus. Weitere Unsicherheiten dieses Kriteriums ergeben sich bei Mehrgefäßprozessen wie Tandemstenosen oder kontralateralen Verschlüssen (hier kann eine kollaterale Mehrdurchströmung zur Überschätzung des Stenosegrads führen). Bei hämodynamisch relevanten Stenosen wirkt sich außerdem das Ausmaß der Kollateralisation des von der Stenose zu versorgenden Gebiets auf die Messwerte aus [7]. Die genannten Einflussgrößen sind der Grund, warum eine Stenosegraduierung allein mit dem Kriterium der systolischen Spitzengeschwindigkeit keine zuverlässigen Aussagen erlaubt.

4. Messung der poststenotischen Strömungsgeschwindigkeit

Hierzu wird die systolische Maximalgeschwindigkeit möglichst weit kranial – jedenfalls außerhalb der Zone mit Jet-Strömung und poststenotischen Strömungsstörungen – gemessen, ggf. unter Zuhilfenahme eines Konvexschallkopfs. Bei einem Stenosegrad bis etwa 70% (NASCET) liegt die maximale Geschwindigkeit in der Regel über 50 cm/s und ist im Seitenvergleich bei nicht stenosierter Gegenseite nicht vermindert. Bei einem Stenosegrad von 80% (NASCET) liegt sie unter 50 cm/s und bei einem Stenosegrad von 90% (NASCET) unter 30 cm/s [13]. Bei weit kranial lokalisierten Stenosen steht dieses Kriterium evtl. nicht zur Verfügung.

5. Nachweis von Kollateralen

Das Vorliegen einer Kollateralströmung über die A. communicans anterior oder posterior oder die A. ophthalmica beweist eine sehr hochgradige Strömungsbehinderung der vorgeschalteten A. carotis. Das Fehlen dieses Kriteriums ist aber mit Vorsicht zu bewerten: eine fehlende Anterior-Kollaterale kann auf eine nicht angelegte Kollateralverbindung zurückzuführen sein. Das Fehlen der Ophthalmika-Kollaterale kann darauf beruhen, dass dieser Umgehungskreislauf bei hervorragender intrakranieller Kollateralisierung nicht benötigt wird. Deshalb ist eine Beurteilung der Kollateralversorgung sicherer, wenn nicht nur extrakraniell, sondern auch intrakraniell untersucht wird. Für die Befunderhebung mit Doppler- und Duplex-Sonografie sind nicht nur Kollateralen in ihrer vollen Ausprägung, sondern

auch Vorstufen zu beachten, z.B. eine im Seitenvergleich fehlende Strömung („Nullströmung“) oder einseitige Strömungsverlangsamung in den Periorbitalarterien. Diese Befunde sind (anders als der Nachweis einer voll ausgebildeten Kollaterale) als alleinige Hinweise aber wenig zuverlässig, da sie auch auf anatomischen Varianten beruhen können. Die Einbeziehung der Kollateralenbildung in die Stenosegraduierung hat den Vorteil einer eindeutigen Kennzeichnung von hämodynamisch relevanten und damit hochgradigen Stenosebefunden.

B. Zusatzkriterien (► **Tab. 1, Nr. 6 – 10**)

6. Diastolische Strömungsverlangsamung der A. carotis communis

Bei hochgradiger, hämodynamisch relevanter Stenose (Stenosegrad ab etwa 70% nach NASCET) nimmt das Strömungsvolumen ab; dies führt zur Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit, wenn der Gefäßquerschnitt konstant bleibt. Die Strömungsverlangsamung wird durch seitenvergleichende Untersuchung der A. carotis communis festgestellt, wobei sich infolge des erhöhten peripheren Strömungswiderstands auch das Systole-Diastole-Verhältnis der Strompulscurve verändert: Die Pulsatilität nimmt zu. Im Frühstadium ist allein die diastolische Minderung der Strömungsgeschwindigkeit (erhöhte Pulsatilität) erkennbar, während die systolische Strömungsgeschwindigkeit noch seitengleich bleibt. Die Ausprägung dieses indirekten Stenosekriteriums hängt nicht nur vom Stenosegrad, sondern auch von den jeweiligen Kollateralwegen ab: bei Kollateralisation über die A. communicans anterior (und kontralaterale A. carotis interna) ist eine Seitendifferenz der A. carotis communis früher erkennbar als bei Kollateralisation über die ipsilaterale A. carotis externa oder über das vertebrobasiläre Stromgebiet. Unsicherheiten dieses Kriteriums ergeben sich bei Mehrgefäßprozessen wie Tandemstenosen oder kontralateralen Verschlüssen.

7. Strömungsstörungen

Wir unterscheiden Turbulenzen, die bei Überschreiten der sog. Reynolds-Zahl durch Übergang von laminarer in turbulente Strömung entstehen, und Ablösungsphänomene bei Gefäßgabelungen oder bei plötzlicher Erweiterung des Gefäßquerschnitts z.B. poststenotisch. Da die hierdurch bedingten Strömungsstörungen auch von der Oberflächenbeschaffenheit der Stenose abhängen, besteht keine enge Korrelation mit dem Stenosegrad. Ausgeprägte Strömungsstörungen sind v.a. als ergänzendes Stenosekriterium von Bedeutung, wenn die Messung der Strömungsgeschwindigkeit im Stenosemaximum nicht möglich ist. Ablösungsphänomene können auch physiologischerweise vorkommen und haben für die Stenosedagnostik nur Bedeutung zusammen mit anderen Stenosekriterien. Sie können erwartet werden bei Stenosen ab etwa 50% (NASCET) und sind bei hochgradigen Stenosen besonders ausgeprägt („Schritte im Kies“).

8. Enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit im Stenosemaximum

In einigen Fällen lässt sich die systolische Spitzengeschwindigkeit nicht ausreichend präzise messen, z.B. wenn die Spitze der Dopplerkurve abgeschnitten ist (Alias-Effekt im gepulsten Doppler-Modus). Hier kann die enddiastolische maximale Strömungsgeschwindigkeit als Zusatzkriterium Verwendung finden. Bei Stenosen ab 70% (NASCET) sind enddiastolische Strömungsgeschwindigkeiten >100 cm/s zu erwarten [15, 16].

Dieses Kriterium hat bei verfügbarem Messwert für die systolische Spitzengeschwindigkeit keine Bedeutung.

9. Perivaskuläre Gewebsvibrationen (Konfetti-Zeichen)

Das Konfetti-Zeichen entsteht durch Vibration perivaskulärer Weichteile bei Auftreffen einer stark beschleunigten Jet-Strömung. Der Befund kommt unmittelbar distal von hochgradigen Stenosen ab etwa 70% (NASCET) sowie bei AV-Fisteln als perivaskuläres Farbmosaik vor [14, 17]. Das Konfetti-Zeichen ist von artefiziellen Farbsignalen (infolge falscher Geräteeinstellung bei zu hoch eingestellter Farbgain) dadurch zu unterscheiden, dass es nicht im gesamten Farbbild, sondern perivaskulär an einem umschriebenen Gefäßabschnitt auftritt. Durch Anheben der PRF kann das Konfettizeichen reduziert oder zum Verschwinden gebracht werden. Dabei kommt der Stenose-Jet besser zur Darstellung, was dann die präzise Platzierung des Doppler-Messvolumens erlaubt.

10. Stenoseindex ACI/ACC

Von verschiedenen verfügbaren Indizes wird dieser Stenoseindex als Quotient von maximaler systolischer Strömungsgeschwindigkeit der A. carotis interna und A. carotis communis international am häufigsten verwendet. Der Stenoseindex ist wertvoll bei der Erkennung zusätzlicher und komplexer Pathologien wie primär engen Gefäßen, Tandemstenosen und einer Hyperperfusion der A. carotis interna [6]. Bei der Graduierung einer Eingefäß-Stenose ist der Stenoseindex weitgehend redundant zur systolischen Spitzengeschwindigkeit, aber mit einem höheren Messfehler behaftet.

Zusammenfassende Empfehlung zur sonografischen Stenosegraduierung und zum Transfer sonografischer Stenosekriterien in NASCET-Stenosierungsgrade

Vorbemerkung: Die Zahlenangaben für Stenosegrade betreffen jeweils einen 10-Prozent-Bereich (± 5 Prozent).

Nicht stenosierende Plaques (Stenosegrad bis 10%)

Im B-Mode sind Plaques nachweisbar, im Farbdoppler-Mode ist keine lokale Strömungsbeschleunigung (Alias-Effekt) erkennbar. Die Dokumentation erfolgt jeweils in der Schnittebene, die die Plaque in ihrer größten Ausdehnung darstellt, und zwar im Längs- und im Querschnitt. Für Verlaufskontrollen erfolgt die Messung der maximalen Länge und Dicke der Plaque. Eine prozentuale Graduierung nach NASCET ist nicht möglich. Bei Anwendung der Planimetrie z.B. im Rahmen von Verlaufsstudien, ist die gemessene Flächenreduktion kein Ersatz für die der klassischen Stenosegrad-Definition zugrunde liegende Durchmesserreduktion. Von einer verbreiterten Intima-Media-Dicke sind Plaques dadurch abzugrenzen, dass sie – meist exzentrisch – in einem umschriebenen Bereich eines Gefäßes auftreten und nicht langstreckig das gesamte Gefäßlumen betreffen.

Geringgradige Stenose (20 – 40%)

Nachweis der lokalen Strömungsbeschleunigung im Farbdoppler-Bild (Alias-Effekt), die systolische Maximalgeschwindigkeit ist gegenüber dem vor- und nachgeschalteten Gefäßabschnitt erhöht; die Kriterien 4–10 sind unauffällig. Eine genauere prozentuale Graduierung als 20–40% ist anhand des NASCET-Verfahrens nicht möglich.

Mittelgradige Stenose (50%)

Nachweis der lokalen Strömungsbeschleunigung (Alias-Effekt), die systolische Maximalgeschwindigkeit ist deutlich erhöht (ca. 200 cm/s), poststenotische Strömungsstörungen sind nachweisbar. Der Stenoseindex ACI/ACC zeigt Werte ≥ 2 . Die enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit liegt unter 100 cm/s. Die Kriterien 4–6 und 9 sind unauffällig.

Mittel- bis hochgradige Stenose (60%)

Nachweis der lokalen Strömungsbeschleunigung (Alias-Effekt), die systolische Maximalgeschwindigkeit ist deutlich erhöht (ca. 250 cm/s), poststenotische Strömungsstörungen sind nachweisbar. Der Stenoseindex ACI/ACC zeigt Werte ≥ 2 ; das Konfetti-Zeichen kann positiv sein. Die enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit liegt noch unter 100 cm/s. Die Kriterien 4–6 sind unauffällig.

Hochgradige Stenose (70%)

Nachweis der lokalen Strömungsbeschleunigung (Alias-Effekt), die systolische Spitzengeschwindigkeit ist stark erhöht (ca. 300 cm/s), die poststenotische Strömungsgeschwindigkeit ist noch normal (> 50 cm/s); evtl. sind beginnende indirekte Zeichen z.B. an der A. supratrochlearis nachweisbar (einseitige Strömungsverlangsamung oder Nullströmung). Poststenotische Strömungsstörungen sind regelmäßig vorhanden. Die enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit beträgt mehr als 100 cm/s. Das Konfetti-Zeichen ist oft positiv.

Sehr hochgradige Stenose (80%)

Nachweis der lokalen Strömungsbeschleunigung (Alias-Effekt), die systolische Maximalgeschwindigkeit ist stark erhöht (ca. 350–400 cm/s), die poststenotische Strömungsgeschwindigkeit ist reduziert (30–50 cm/s); die A. carotis communis weist eine erhöhte Pulsatilität auf; an der A. supratrochlearis und/oder A. cerebri anterior ist ein Kollateralfluss nachweisbar. Poststenotische Strömungsstörungen sind ausgeprägt vorhanden („Schritte im Kies“), das Konfetti-Zeichen ist oft positiv.

Höchstgradige Stenose (90%)

Das Stenosemaximum ist im Farbdoppler-Bild oft schwer auffindbar, die systolische Maximalgeschwindigkeit ist variabel (100–500 cm/s), die poststenotische Strömungsgeschwindigkeit ist stark reduziert (< 30 cm/s) und die Pulsatilität der Strömung ist mit variabler Ausprägung vermindert; die A. carotis communis weist eine Strömungsverlangsamung mit erhöhter Pulsatilität auf; an den Periorbitalarterien und/oder der A. cerebri anterior ist ein Kollateralfluss nachweisbar; poststenotische Strömungsstörungen sind deutlich geringer als bei den 80%igen Stenosen, das Konfetti-Zeichen ist nicht vorhanden.

Verschluss

Im Farbdoppler-Bild ist bei im B-Bild abgrenzbarem Gefäßverlauf auch bei empfindlicher Einstellung (niedrige PRF, hohe Farbverstärkung) in Längs- und Querschnittsbildern kein Strömungssignal nachweisbar (zum Nachweis einer Gefäßeinsprossung in einen Verschluss: s.o.). Die Kriterien 5 und 6 entsprechen dem Befund bei höchstgradiger Stenose: An der A. supratrochlearis und/oder A. cerebri anterior ist ein Kollateralfluss nachweisbar; die A. carotis communis weist eine Strömungsverlangsamung mit erhöhter Pulsatilität auf.

Diskussion



Die Ultraschallkriterien der DEGUM zur Graduierung von Karotisstenosen orientierten sich bisher an der ECST-Definition des lokalen Stenosegrads [5]. Da sich bei den radiologischen Diagnostikverfahren die Stenosegraduierung nach NASCET international durchgesetzt hat, werden ECST- und NASCET-Graduierung oft nebeneinander benutzt. Um die daraus resultierende Konfusion zu beseitigen, wird jetzt die einheitliche Verwendung der NASCET-Bezugsgröße (distaler Stenosegrad) empfohlen, wenngleich die ECST-Kriterien besser das morphologische Ausmaß einer Stenose abbilden.

Schon 1994 haben Rothwell et al. eine Formel entwickelt, über die Stenosegrade der A. carotis interna von ECST- auf NASCET-Definition umgerechnet werden können und umgekehrt [9]. Damit sollte eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus den nordamerikanischen und europäischen Studien hergestellt werden. Die Formel ist durch Vergleich von mehr als 1000 Angiografien sehr gut validiert.

Die DEGUM-Stenosekriterien werden seit 1986 in Deutschland mit breitem Konsens und in ständigem Vergleich mit der Angiografie und vor allem auch mit intraoperativen Befunden verwandt. Für die Beurteilung hämodynamischer Veränderungen wurde ursprünglich die Doppler-Sonografie, später zunehmend die Duplex-Sonografie eingesetzt. Diese Kriterien werden hier nun, umgerechnet nach der Rothwell-Formel, mit Bezug auf die NASCET-Definition des distalen Stenosegrads zusammenfassend dargestellt. Neu ist eine Einteilung in Haupt- und Zusatzkriterien. Außerdem wurden Kriterien aufgenommen, für die die Anwendung der farbkodierten Duplex-Sonografie Voraussetzung ist.

Dieser auf den DEGUM-Kriterien basierende multiparametrische Ansatz unterscheidet sich von den Stenosekriterien der nordamerikanischen Literatur, z. B. von dem Konsensus der Radiological Society of North America RSNA [16]: Während die RSNA-Kriterien nur **einen** hämodynamischen Parameter als primäres Kriterium verwenden, empfehlen wir mehrere primäre und sekundäre Kriterien. Damit erlauben diese Kriterien eine Graduierung hochgradiger Stenosen in 10%-Schritten (70%, 80%, 90%). Beispielsweise lassen sich 80%-Stenosen durch den sicheren Nachweis einer Kollateralströmung identifizieren und von 70%-Stenosen unterscheiden sowie 90%-Stenosen an einer stark verlangsamten poststenotischen Strömungsgeschwindigkeit (<30 cm/s systolisch) erkennen. Wir halten diese Einteilung für notwendig, um die Progredienz asymptomatischer Stenosen als wichtigsten Indikator für ein erhöhtes Schlaganfallrisiko zu erfassen [2].

Die unterschiedlichen Ansätze der DEGUM-Kriterien und RSNA-Kriterien (als Beispiel für die in der nordamerikanischen Literatur konsentierten Parameter) haben Auswirkungen auf das Stenosekriterium systolische Maximalgeschwindigkeit (peak systolic velocity, PSV): Während die RSNA-Kriterien eine Grenz-PSV angeben, die möglichst alle Stenosebefunde $\geq 70\%$ erfasst, verwenden die DEGUM-Parameter eine mittlere PSV (mit Streuung nach unten und oben). **Abb. 2** zeigt, dass DEGUM-Kriterien und RSNA-Kriterien dabei gut korrelieren: für eine 70%-Stenose liegt die mittlere PSV (DEGUM-Kriterium) bei ca. 300 cm/s, die untere Grenz-PSV liegt in dieser Grafik bei 230 cm/s.

Für die Grenz-PSV werden in der Literatur sehr unterschiedliche Werte angegeben, abhängig davon, was mit dem Grenzwert erreicht werden soll: eine hohe Sensitivität bei eher un-

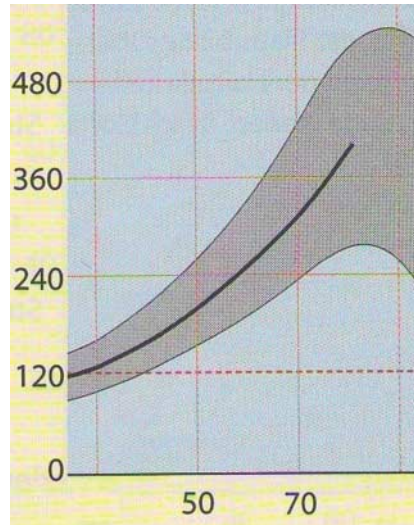


Abb. 2 Stenosegrad der A. carotis interna in Prozent nach NASCET (Abszisse) und systolische Spitzengeschwindigkeit in cm/s (Ordinate). Die Messwerte streuen um einen mittleren Wert (dunkle Linie): für den Stenosegrad 70% liegt der mittlere Wert bei 300 cm/s, der untere Grenzwert bei 230 cm/s, Erklärungen im Text (nach [6], modifiziert).

Fig. 2 Degree of stenosis (%) of the internal carotid artery according to NASCET definition (axis of abscissae) and peak systolic velocity (cm/sec) (axis of ordinates). Data are scattered around a mean value (dark line): For 70% stenosis the mean value is 300 cm/sec, the lower limit value is 230 cm/sec (according to [6]).

tergeordneter Spezifität oder hohe Spezifität bei eher untergeordneter Sensitivität oder hohe Treffgenauigkeit (accuracy) als maximale Summe aus Sensitivität und Spezifität. Moneta et al. haben dies an einem größeren Kollektiv untersucht [18]: Wenn für Stenosen 60–99% (NASCET) eine Grenz-PSV von 200 cm/s angenommen wurde, war die Sensitivität hoch (93%) und die Spezifität niedrig (76%) bei einer Treffgenauigkeit von 84%. Wenn für Stenosen 60–99% eine Grenz-PSV von 300 cm/s angenommen wurde, war die Spezifität hoch (95%) und die Sensitivität niedrig (78%) bei einer Treffgenauigkeit von 87%. Bei Annahme einer Grenz-PSV von 260 cm/s für Stenosen 60–99% war die Treffgenauigkeit mit 88% am höchsten, dabei betrug die Sensitivität 86% und die Spezifität 91%.

Die Literatur zeigt, dass die ermittelten Werte auch unabhängig davon streuen und vom untersuchten Kollektiv abhängig sind. Elgersma et al. haben dieselbe Vergleichsuntersuchung von Angiografie und Ultraschall an 2 unterschiedlichen Kollektiven durchgeführt, dabei im ersten Kollektiv für Stenosen $\geq 70\%$ (NASCET) eine Grenz-PSV von 210 cm/s ermittelt, im zweiten Kollektiv eine Grenz-PSV von 270 cm/s [19]. Wenn man außerdem die Punktwolken vorliegender Originalarbeiten betrachtet, wird erkennbar, dass die Werte nicht immer mit der erforderlichen Sorgfalt (wie oben ausführlich beschrieben) gemessen worden sein können: So wurden in der häufig zitierten Arbeit von Hunink et al. [20] für eine angiografische 70%-Stenose (NASCET) PSV-Werte zwischen 50 und 530 cm/s gemessen, wobei sich die Messwerte ziemlich gleichmäßig auf der Skala verteilen und keinen Cluster bilden. Zumindest bei den Ausreißern nach oben und unten muss es sich um Fehlmessungen handeln.

Metaanalysen können derartige Variabilitäten teilweise kompensieren. Sie lösen aber nicht das Problem, dass angloameri-

kanische Arbeiten grundsätzlich Werte für einen uniparametrischen Ansatz suchen und eine Grenz-PSV angeben, während die DEGUM-Kriterien einen multiparametrischen Ansatz haben, für den uniparametrische Grenz-PSV-Daten nicht als Ausgangswerte herangezogen werden können. Metaanalysen lösen auch nicht das Problem der interindividuell und physiologisch bedingt starken Streuung der PSV-Werte. Diese bedingt, dass der uniparametrische Ansatz fehleranfälliger ist. Es ist solcher unzureichender Ultraschallmethodik anzulasten, wenn auf der Basis von Literaturreviews dem „carotid ultrasound“ nur der Platz eines „screening tools“ zugewiesen wird [21].

Mit dem multiparametrischen Konzept der DEGUM-Kriterien liegen inzwischen umfangreiche Erfahrungen über einen Zeitraum von fast 25 Jahren vor: Sie zeigen, dass Ultraschall eine hervorragende Methode zur Stenosegraduierung ist, wenn eine differenzierte synoptische Beurteilung mit verschiedenen hämodynamischen und Bildkriterien erfolgt. Dies wird sich nach der Anpassung der Kriterien an die NASCET-Definition nicht ändern. **Tab. 1** enthält neben der neuen Graduierung (nach NASCET) auch die frühere Klassifikation (entsprechend ECST), da wir überzeugt sind, dass die Kenntnis der aufgrund der Aufweitung der A. carotis interna an ihrem Abgang (Bulbus) existierenden 2 Verfahren der radiologischen Stenosegradbestimmung und der sich daraus ergebenden Besonderheiten essenziell ist, um sonografisch erhobene Befunde in einen radiologischen Stenosegrad zu transferieren.

Wie bei allen diagnostischen Verfahren sind valide Befunde auch beim Ultraschall nur bei dessen qualifizierter Anwendung durch einen gut ausgebildeten und erfahrenen Untersucher zu erwarten. Ultraschallanwender, die ihre besondere Qualifikation dokumentieren wollen, können sich durch die DEGUM zertifizieren lassen (www.degum.de). Eine qualifizierte Ultraschalluntersuchung durch einen entsprechend qualifizierten und erfahrenen Untersucher ist ein äußerst valides Verfahren zur Diagnostik von Stenose- und Verschlussprozessen an der A. carotis, das den Einsatz der risikobehafteten intraarteriellen Angiografie auf wenige sehr spezielle Fragestellungen einengt [22].

Literatur

- Arning C. Behandlung von Karotisstenosen. *Dtsch Med Wochenschr* 2005; 130: 2513–2517
- Hennerici M, Hülsbömer HB, Hefter H et al. Natural history of asymptomatic extracranial arterial disease. Results of a long-term prospective study. *Brain* 1987; 110: 777–791
- ECST Collaborative Group. Randomised trial of endarterectomy for recently symptomatic carotid stenosis: final results of the MRC European Carotid Surgery Trial (ECST). *Lancet* 1998; 351: 1379–1387
- North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis. *N Engl J Med* 1991; 325: 445–453
- Widder B, Reutern GM von, Neuerburg-Heusler D. Morphologische und dopplersonographische Kriterien zur Bestimmung von Stenosegraden an der A. carotis interna. *Ultraschall in Med* 1986; 7: 70–75
- Widder B, Görtler M. Doppler- und Duplexsonographie der hirnversorgenden Arterien. 6. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer; 2004
- Kaps M, von Reutern GM, Stolz E et al. *Ultraschall in der Neurologie*. 2. Aufl. Stuttgart, New York: Thieme; 2005
- Arning C. Farbkodierte Duplexsonographie der hirnversorgenden Arterien. 3. Aufl. Stuttgart, New York: Thieme; 2002
- Rothwell PM, Gibson RJ, Slattery J et al. Equivalence of measurements of carotid stenosis. A comparison of three methods on 1001 angiograms. European Carotid Surgery Trialists' Collaborative Group. *Stroke* 1994; 25: 2435–2439
- Reutern GM von, Büdingen HJ, Hennerici M et al. Diagnose und Differenzierung von Stenosen und Verschlüssen der A. carotis mit der Doppler-Sonographie. *Arch Psychiat Nervenkr* 1976; 222: 191–207
- Arning C. Evaluation of carotid artery stenosis by power Doppler imaging. *Stroke* 1998; 29: 2211–2212
- De Bray JM, Glatt B. Quantification of atheromatous stenosis in the extracranial internal carotid artery. *Cerebrovasc Dis* 1995; 5: 414–426
- Görtler M, Widder B, Schütz U. Assessing carotid artery stenosis by Doppler- and colour-coded duplex sonography. In Klingelhöfer J, Bartels E, Ringelstein EB, (eds). *New trends in cerebral hemodynamics and neurosonology*. Amsterdam: Elsevier; 1997: 67–72
- Görtler M, Niethammer R, Widder B. Differentiating subtotal carotid artery stenoses from occlusions by colour-coded duplex sonography. *J Neurol* 1994; 241: 301–305
- Jahromi AS, Cinà CS, Liu Y et al. Sensitivity and specificity of color duplex ultrasound measurement in the estimation of internal carotid artery stenosis: a systematic review and meta-analysis. *J Vasc Surg* 2005; 41: 962–972
- Grant EG, Benson CB, Moneta GL et al. Carotid artery stenosis: gray-scale and Doppler US diagnosis – Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference. *Radiology* 2003; 229: 340–346
- Arning C. Perivaskuläre Gewebsschwingungen: ein Kriterium hochgradiger Stenosen der A. carotis interna. *Ultraschall in Med* 2001; 22: 62–65
- Moneta GL, Edwards JM, Papanicolaou G et al. Screening for asymptomatic internal carotid artery stenosis: duplex criteria for discriminating 60% to 99% stenosis. *J Vasc Surg* 1995; 21: 989–994
- Elgersma OE, van Leersum M, Buijs PC et al. Changes over time in optimal duplex threshold for the identification of patients eligible for carotid endarterectomy. *Stroke* 1998; 29: 2352–2356
- Hunink MG, Polak JF, Barlan MM et al. Detection and quantification of carotid artery stenosis: efficacy of various Doppler velocity parameters. *Am J Roentgenol* 1993; 160: 619–625
- Latchaw RE, Alberts MJ, Lev MH et al. Recommendations for imaging of acute ischemic stroke. A scientific statement from the American Heart Association. *Stroke* 2009; 40: 3646–3678
- Khaw KT. Does carotid duplex imaging render angiography redundant before carotid endarterectomy? *Brit J Radiol* 1997; 70: 235–238