

Verbesserter Nachweis extracrazieller Stenosen und Plaques der A. carotis durch Kombination von B-Bild Echo-Arteriographie und Doppler-Sonographie

B. Widder, K.-J. Christ und H. H. Kornhuber

Abteilung für Neurologie der Universität Ulm (Leiter: Prof. Dr. H. H. Kornhuber),
Steinhövelstrasse 9, D-7900 Ulm/Donau, Bundesrepublik Deutschland

Improved Detection of Extracranial Carotid Artery Stenoses by Combination of B-Mode Arteriography and Doppler Sonography

Summary. Investigations for carotid stenoses were performed in 850 patients suspected of having cerebrovascular insufficiency. Indirect and direct Doppler sonography as well as high resolution B-mode ultrasonic arteriography were used. Angiography was performed in 78 patients (138 carotid arteries). Carotid endarterectomy was carried out in 62 cases. While almost all high grade stenoses and occlusions were correctly detected by Doppler sonography, accuracy decreased to approximately 20% in lower grade stenoses of less than 40% diameter reduction. On the other hand ultrasonic arteriography showed the highest accuracy of approximately 85% in low grade stenoses, while less than 40% of high grade stenoses and occlusions were correctly identified. Overall sensitivity of the combination of both methods was 95% as compared with the angiographic findings, specificity 89%. Because X-ray-angiography often fails in the correct detection of low grade stenoses, and because ultrasonic arteriography has some advantages in estimating the morphology of plaques, the surgical findings rather than the X-ray findings should be the standard for evaluation of the ultrasonic findings. Combination of Doppler sonography and ultrasonic arteriography results in more specific indications for angiography and carotid endarterectomy in transient ischaemic attacks. The proposed method is suitable for detailed controls after carotid surgery, and is the method of choice for follow-up studies in asymptomatic carotid arteriosclerosis.

Key words: Ultrasound-diagnostic use - B-mode arteriography - Doppler sonography - Carotid stenosis

Zusammenfassung. 850 Patienten mit Verdacht auf zerebrovaskuläre Durchblutungsstörungen wurden mit indirekter und direkter Doppler-Sonographie sowie anschließender Echo-Arteriographie mit einem hochauflösenden B-Bildgerät auf Carotisstenosen untersucht. 138 Carotiden von 78 Patienten die-

ses Kollektivs wurden angiographiert, in 62 Fällen wurde eine operative Ausschälgung einer Carotisstenose vorgenommen. Während Doppler-sonographisch hochgradige Stenosen und Verschlüsse praktisch immer erkannt wurden, betrug die Treffsicherheit bei geringgradigen Stenosen unter 40% Lumeneinengung nur etwa 20%. Umgekehrt erreichte die Echo-Arteriographie ihre höchste Treffsicherheit von etwa 85% bei geringgradigen Stenosen, während weniger als 40% aller hochgradigen Stenosen und Verschlüsse erkannt wurden. Bei Kombination beider Verfahren betrug die Treffsicherheit bezüglich der Erkennung pathologischer Befunde im Vergleich zur Röntgen-Angiographie 95%, die Spezifität (richtig negative Diagnose) 89%. Da die Angiographie vor allem bei geringgradigen Stenosen selbst nur eine begrenzte Treffsicherheit im Vergleich zum anatomischen Substrat besitzt und die Echo-Arteriographie in manchen Fällen der Angiographie hinsichtlich der morphologischen Genauigkeit überlegen sein dürfte, wird für weitere Untersuchungen der Vergleich mit dem Operationsbefund empfohlen. Die kombinierte Doppler-Sonographie und Echo-Arteriographie ermöglicht eine gezieltere Indikationsstellung zur Angiographie und Gefäßrekonstruktion bei transitorischen ischaemischen Attacken, eignet sich für postoperative Kontrollen nach Carotis-Thrombendarterektomien und bietet sich für Verlaufs- und Therapiekontrollen bei asymptomatischen Gefäßveränderungen an.

Schlüsselwörter: Ultraschall-Schnittbild-Untersuchung – Echo-Arteriographie – Doppler-Sonographie – Carotisstenosen

Einleitung

Die Doppler-Sonographie der hirnversorgenden Arterien hat in den letzten Jahren einen festen Platz bei der Erkennung von Stenosen und Verschlüssen dieser Gefäße erhalten [15]. Gegenüber der Angiographie bietet sie den Vorteil, völlig risikofrei und beliebig oft wiederholbar zu sein. Hochgradige Stenosen mit einer Lumeneinengung von mehr als 50% im Bereich der Carotisbifurkation lassen sich mit großer Sicherheit in ihrem Stenosierungsgrad und in ihrer Ausdehnung bestimmen, außerdem können Stenosen von Verschlüssen unterschieden werden [9, 19, 20, 21, 24].

Ein beträchtlicher Teil der flüchtigen oder zu Dauerschäden führenden Durchblutungsstörungen des Gehirns ist jedoch nicht durch hämodynamisch relevante Gefäßeinengungen bedingt, sondern durch fortgeschwemmte Emboli (Fibrinplättchen-Konglomerate, Cholesterin-Kristalle oder Thrombenteile) aus ulzerierten Atheromen der Carotiden [10, 16]. Geringgradige Stenosen werden aber im Doppler-Sonogramm übersehen, da das Verfahren auf der Beurteilung von hämodynamischen Veränderungen im Bereich der Stenose beruht, die in diesen Fällen nicht oder nur geringfügig vorhanden sind [24].

Bildgebende Ultraschall-Verfahren, die auf dem Echo-Prinzip basieren und damit nicht der Beschränkung durch die Hämodynamik unterliegen, wurden bereits vor mehr als 10 Jahren durch die Arbeiten von Olinger [18] und Blue u. Mitarb. [4] eingeführt, die Ergebnisse waren jedoch wenig erfolgversprechend.

Dies lag vor allem an der geringen Auflösung der Geräte durch Verwendung relativ niedriger Frequenzen sowie an der Benutzung statischer „Compound-Scans“, mit denen der anatomisch stark variablen Lage der Carotisbifurkation nur ungenügend Rechnung getragen werden konnte. Erst seit jüngster Zeit stehen hochauflösende „Realtime“-Geräte zur Verfügung, die aufgrund der verwendeten Frequenz in der Größenordnung um 8 MHz und der damit verbundenen geringen Eindringtiefe speziell für die Darstellung oberflächennaher Strukturen konzipiert sind.

Die bisher in der Literatur beschriebenen Erfahrungen mit dem hochauflösenden B-Scan zeigen zwar die prinzipielle Möglichkeit der Darstellung der Carotiden [1, 6, 7, 12, 13, 14, 19, 20, 26], die Treffsicherheit des Verfahrens wird jedoch von anglo-amerikanischen Autoren mit nur 35–45% bei höhergradigen Stenosen und Verschlüssen der A. carotis angegeben. Im Bereich geringgradiger Stenosen dagegen ist die Treffsicherheit wesentlich höher. Genaue Angaben finden sich allerdings nur bei Hobson und Mitarbeitern [12] und Comerota und Mitarbeitern [6], die eine Treffsicherheit von 78% bzw. 75% beschreiben.

Zu anderen Ergebnissen kommt die unseres Wissens nach einzige Arbeit aus dem deutschsprachigen Raum über dieses Verfahren. Zeitler und Mitarbeiter [26] finden zwar Übereinstimmung hinsichtlich der Spezifität, berichten aber über eine Treffsicherheit von umgerechnet 91% bei insgesamt 11 „hämodynamisch relevanten“ Stenosen, wobei der Begriff der hämodynamischen Relevanz jedoch nicht näher definiert wird. Aufgrund dieser Erfahrungen empfehlen sie die breite Anwendung der Echo-Arteriographie zur Früherkennung von Carotiststenosen.

Seit mehr als 6 Jahren wenden wir die Doppler-Sonographie der hirnzuführenden Gefäße zur Abklärung zerebrovaskulärer Durchblutungsstörungen an. Um jedoch auch geringgradige Stenosen besser erkennen zu können, benutzen wir zusätzlich seit Anfang 1981 das Ultraschall-Schnittbildverfahren. Da uns aufgrund der vorhandenen Literatur die alleinige Anwendung der Echo-Arteriographie nicht erfolgversprechend schien, interessierte uns dabei vor allem die Frage, inwieweit Stenosen aller Grade durch die Kombination beider Methoden erfaßt werden können.

Methodik

Im Zeitraum von Mai bis Oktober 1981 untersuchten wir 850 Patienten mit Verdacht auf zerebrovaskuläre Durchblutungsstörungen sowohl Doppler-sonographisch als auch mit dem Ultraschall-B-Bildgerät (Echo-Arteriographie). Bei 78 Patienten erfolgte die angiographische Darstellung von insgesamt 138 Carotiden. In 60 Fällen wurde eine operative Ausschälung (Abt. Gefäßchirurgie der Universität Ulm, Leiter: Prof. Dr. J. Vollmar) einer Carotistserose vorgenommen, in weiteren 2 Fällen erfolgte die Operation ohne vorherige Angiographie nur aufgrund des Doppler- und Echo-sonographisch erhobenen Befundes.

Die Doppler-Sonographie führten wir mit einem direktionellen „continuous-wave“ Gerät der Firma Delalande durch, die ausgesendete Frequenz beträgt bei diesem Gerät 4 MHz. Die Doppler-Untersuchung erfolgte in jedem Fall vor der Beschallung mit dem Echo-Gerät, um die räumliche Lage der Carotisäste zu kennen. Die dazu notwendige Technik der Differenzierung zwischen A. carotis interna und externa ist bereits anderweitig hinlänglich beschrieben worden [5, 15]. Das abgeleitete Strömungssignal, das weniger anhand der mitregistrierten Geschwindigkeits-Hüllkurve als des im Lautsprecher des Geräts hörbaren Frequenz-

spektrums bewertet wurde, teilten wir nach hämodynamischen Gesichtspunkten in 5 Gruppen ein:

1. Normal. Gleichmäßiger Übergang der A. carotis communis in die A. carotis interna und externa ohne Strömungsbeschleunigung und ohne Turbulenzen, leichte Geschwindigkeitsverminderung im Bereich des Carotis-Bulbus aufgrund des größeren Durchmessers.

2. Geringgradige Stenose (1–39%). Leichte Strömungsgeschwindigkeitszunahme und eventuell „Rauigkeit“ des Frequenzspektrums.

3. Mittelgradige Stenose (40–69%). Deutliche Flußgeschwindigkeitszunahme mit noch weitgehend auf die Systole beschränkten Turbulenzen.

4. Hochgradige Stenose (70–99%). Starke Turbulenzen, die auf die Diastole übergreifen. Typisches poststenotisches Geräusch („Schritte im Kies“). Mit zunehmendem Stenosierungsgrad Abnahme des pulsatilen Anteils des Strömungssignals (diese für die Praxis wichtige Unterscheidung zwischen hochgradiger und subtotaler Stenose wurde in diesem Zusammenhang nicht berücksichtigt).

5. Verschluß. Nicht ableitbares Gefäß unter verschiedenen Beschallungsrichtungen und -winkeln.

Zusätzlich wurde zur weiteren Absicherung des Befundes die A. suprachiasmatis als indirektes Zeichen für die Carotis-Durchblutung beschallt [17]. Das abgeleitete Signal wurde in 4 Gruppen eingeteilt (unauffällig, verminderter diastolischer Durchfluß, arterielle Stase, retrograder Fluß), wobei die letzten beiden Gruppen als sicher pathologisch angesehen wurden [15, 24].

Die Echo-Arteriographie erfolgte mit einem sogenannten Small-Part-Scanner mit dynamischer Fokussierung der Firma Smithkline Instruments (Vivid Physik-Technik). Das Gerät arbeitet mit einer Frequenz von 8,5 MHz, einem Sektorwinkel von 28° bei einer Bildbreite von 25 mm auf der Hautoberfläche und einer Eindringtiefe von nominell 5 cm. Das Ultraschallbild erscheint mit 64 Graustufen auf einem Videomonitor in 4facher Vergrößerung und kann auf Polaroid-Film dokumentiert werden. Der Schallkopf wurde von Hand unter dauernder Beobachtung des Monitors entlang der Carotisgabel gefahren, wobei vor allem die longitudinalen Schnittbilder bewertet wurden. Nur in einigen Fällen wurden zusätzlich transversale Schnitte gelegt. Um einen räumlichen Eindruck vom untersuchten Gefäß zu erhalten, wurde jeweils aus mehreren Richtungen beschallt (lateral, fronto-lateral, postero-lateral), und der Schallkopf dabei parallel zwischen den beiden senkrecht zur Schallrichtung gelegenen Gefäßwänden hin und her bewegt. Entsprechend erfolgte die Beurteilung des Gefäßes weniger aufgrund der lediglich zur Dokumentation gemachten Polaroid-Bilder als aufgrund des quasi-dreidimensionalen Eindrucks während der Untersuchung mit dem unter Beobachtung des Arterienbildes geführten Schallkopfes. Die so ermittelten Lumeneinengungen wurden ähnlich der angiographischen Betrachtungsweise in Prozent vermerkt und den hämodynamisch definierten Gruppen zugeordnet.

Ergebnisse

Die Doppler-sonographische Beurteilung der Carotiden war bei den angiographisch kontrollierten Patienten bis auf einen Fall sicher möglich. Trotz langjähriger Erfahrung des Untersuchers ließ sich bei dieser Patientin die rechte A. carotis interna aufgrund ihrer medialen Lage hinter der A. carotis externa und einer vermuteten Kalkeinlagerung, die ein Eindringen des Schallstrahls in das Gefäß verhinderte, im Abgangsbereich nicht ableiten. Tabelle 1 zeigt die Treffsicherheit der Doppler-Sonographie im Vergleich zur Angiographie bei 138 Carotiden. Die Prozentzahlen entsprechen den aus der Literatur bekannten Angaben [9, 15, 21].

Tabelle 1. Treffsicherheit der indirekten und direkten Doppler-Sonographie im Vergleich zur Angiographie

Angiographischer Befund	N	Beurteilung im Doppler-Sonogramm			Ver- schluß	Nicht sicher beurteilbar	Andere Befunde	Treff- sicherheit
		Normal	1-39%	40-69%				
Normal	28	27	1	—	—	—	—	96%
1-39%	25	18	4	3 (1) ^a	—	—	—	16% (24%)
40-69%	32	4	3	24	—	—	1	75%
70-99%	33	—	—	2 (0) ^b	31	—	—	94% (100%)
Verschluß	18	—	—	—	1 (0) ^c	17	—	94% (100%)
Andere Befunde	2	1 Kinking	—	—	—	—	1 Aneurysma —	—

Spezifität (Normalbefunde): 96%

Sensitivität (sicher pathologische Befunde): 78%

^{a,b,c} Siehe Fußnoten Tabelle 3

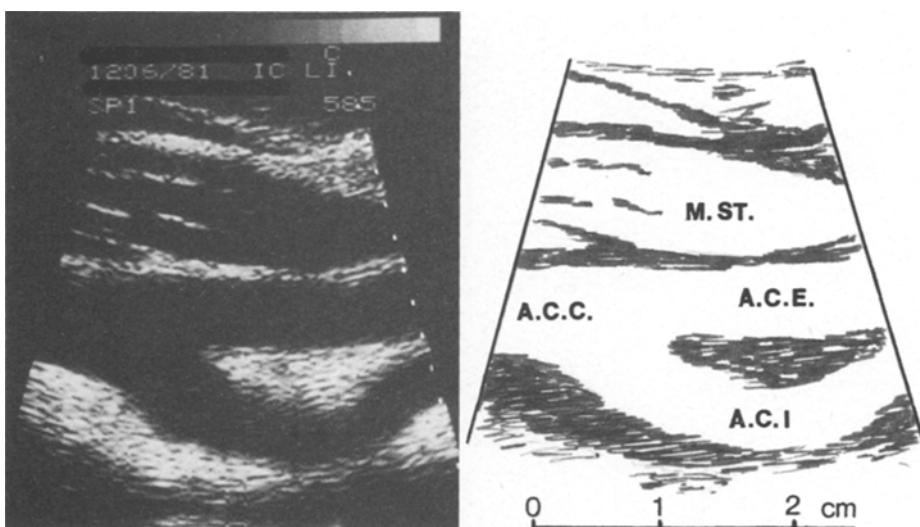


Abb. 1. Längsschnitt durch eine unauffällige linke Carotisbifurkation im Echo-Arteriogramm.
A.C.C.: A. carotis communis; A.C.E.: A. carotis externa; A.C.I.: A. carotis interna; M.St.: M. sternocleidomastoideus

Im Echo-Arteriogramm ließ sich die A. carotis communis sicher und problemlos anhand ihrer Pulsation erkennen und in ihrem Verlauf verfolgen. Bei nur geringer oder fehlender Pulsation aufgrund von Verschlußprozessen konnte die V. jugularis durch Valsalva-Manöver von der A. carotis communis differenziert werden. Schwieriger erwies sich die Darstellung der Carotisgabel und ihrer Abgangsäste: Da die drei Gefäßabschnitte oft nicht in einer Schnittebene liegen, ließ sich die Bifurkation nur etwa in einem Viertel aller Fälle auch als Gabel darstellen (Abb. 1). In den anderen Fällen war die A. carotis communis entweder nur mit dem Abgang der A. carotis interna oder dem der A. carotis externa abzubilden. Beispiele hierfür sind in den Abb. 2 und 3 gezeigt. Obwohl die A. carotis externa oft an ihrem gegenüber der A. carotis interna geringeren Kaliber, den im Echogramm sichtbaren Seitenästen sowie an ihrer zumeist nach fronto-medial gehenden Lage erkannt werden konnte, war die sichere Differenzierung der Carotisäste in vielen Fällen nur aufgrund der vorausgegangenen Doppler-sonographischen Lagebestimmung möglich.

Tabelle 2 zeigt die Treffsicherheit der Echo-arteriographischen Beurteilung im Vergleich zur Angiographie. In 31 Fällen (22%), vorwiegend bei hochgradigen Stenosen und Verschlüssen, ließ sich das Echogramm der A. carotis interna nicht sicher beurteilen. Die wesentlichen Ursachen waren:

1. Im Grenzbereich der Eindringtiefe des Ultraschall-Strahls liegende Gefäße bei adipösen Patienten mit Kurzhals, atypischer Verlauf der A. carotis interna sowie sehr hoch unter dem Kieferwinkel liegende Bifurkation.
2. Kalkeinlagerungen in der zum Schallkopf gerichteten Gefäßwand, die für Ultraschall undurchlässig sind und die Beurteilung der in Schallrichtung dahinter liegenden Strukturen unmöglich machen oder zumindest erschwerten.

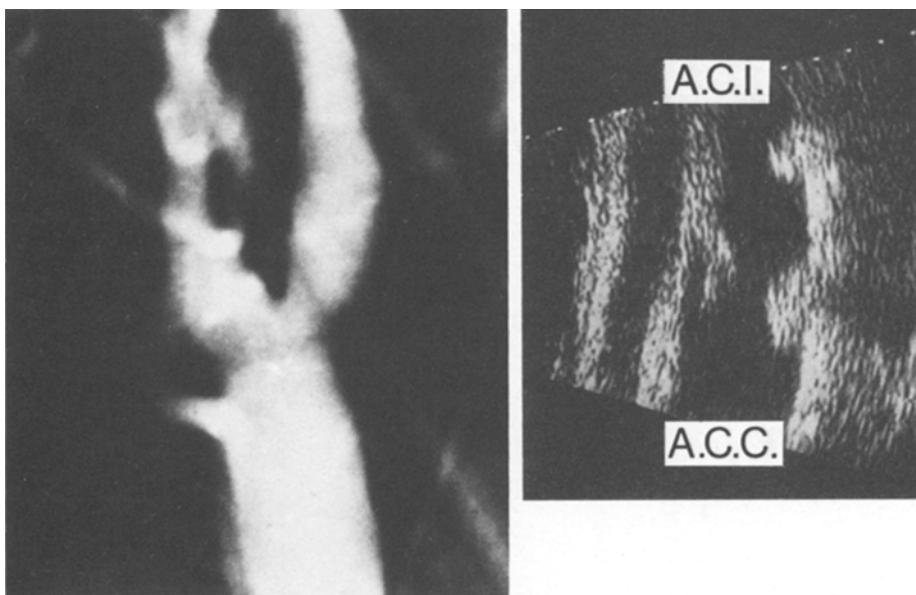


Abb. 2. H. H., 9. 12. 1927: Im Echo-Arteriogramm 40–50%ige, relativ langstreckige Stenose am Abgang der rechten A. carotis interna. Typischer Schallschatten, der auf Kalkeinlagerungen hinweist. Im Röntgen-Angiogramm Bestätigung des sonographischen Befundes einer mittelgradigen Stenosierung

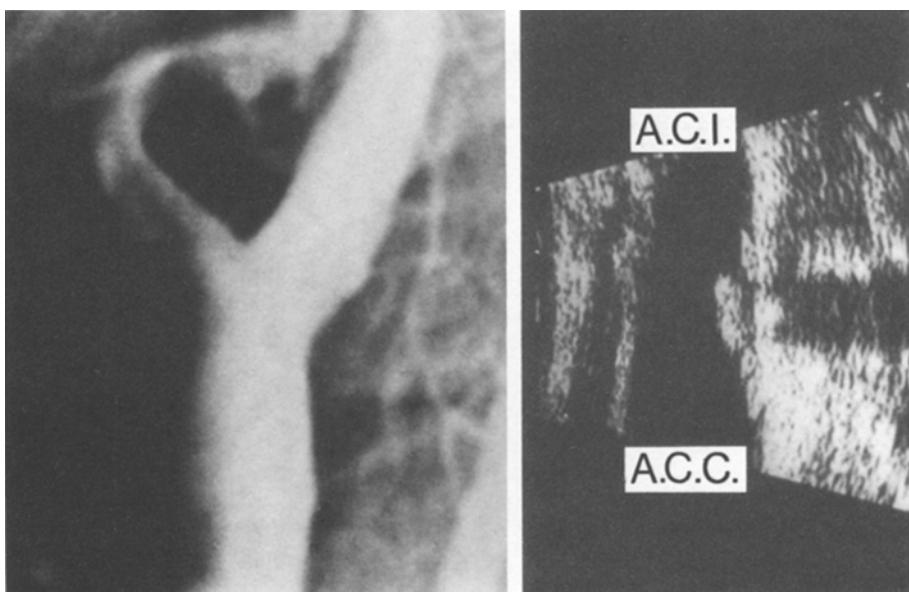


Abb. 3. K. S., 26. 10. 1910: Im Echo-Arteriogramm deutlicher Plaque mit 20–30%iger Lumen-einengung am Abgang der rechten A. carotis interna. Sichere Identifizierung aufgrund des typischen Kalk-Schallschattens (vgl. Abb. 2). Im seitlichen Röntgen-Angiogramm kein sicherer Hinweis für stenosierende Wandveränderungen, a-p-Aufnahme wegen sich überlagernder Gefäße nicht beurteilbar

Tabelle 2. Treffsicherheit der Echo-Arteriographie im Vergleich zur Angiographie

Angiographischer Befund	N	Beurteilung im Echo-Arteriogramm			70-99%	Verschluß	Schalldicht/ nicht sicher ableitbar	Andere Befunde	Treff- sicherheit
		Normal	1-39%	40-69%					
Normal	28	22	5 (2) ^a	1	—	—	—	—	79% (89%)
1-39%	25	3	20	2 (0) ^a	—	—	—	—	80% (89%)
40-69%	32	—	3	25	—	—	4	—	78%
70-99%	33	—	—	2 (0) ^b	13	—	18	—	39% (45%)
Verschluß	18	—	2	—	1 (0) ^c	6	9	—	33% (35%)
Andere Befunde	2	—	—	—	—	—	—	1 Aneurysma — 1 Kinking	—

Spezifität (Normalbefunde): 79% (89%)

Sensitivität (sicher pathologische Befunde): 69%

^{a,b,c} Siehe Fußnoten Tabelle 3

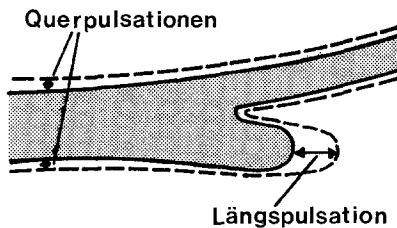


Abb. 4. Schematisches Wirkungsprinzip der echo-arteriographisch sichtbaren Längspulsationen beim Verschluß der A. carotis interna

Bei 28 angiographisch unauffällig beurteilten Carotiden wurde sonographisch in 6 Fällen eine bis zu 50%ige Stenose beschrieben. Eine Überprüfung der dazugehörigen Röntgen-Angiographie-Bilder ergab, daß bei 3 Carotiden eine sichere Beurteilung aufgrund technischer Mängel nicht möglich war, während in diesen Fällen unserer Meinung nach sonographisch eindeutig Stenosierungen mit typischen, durch Kalkeinlagerungen bedingten Schallschatten zu sehen waren. Ein Beispiel hierfür findet sich in Abb. 3. Ähnliche Verhältnisse fanden sich in der Gruppe der 25 angiographisch als geringgradige Stenosen angenommenen Fälle, bei denen 2 Carotiden im Echo-Arteriogramm (und im Doppler-Sonogramm) deutlich höhergradige Stenosen erkennen ließen. Keiner dieser 5 Fälle wurde operiert, so daß eine direkte Überprüfung der Befunde nicht möglich war. Unter der Annahme, daß es sich hier möglicherweise um falsch-negative Angiographie-Ergebnisse handelt, wurde jeweils in Klammern die Treffsicherheit bei Nichtberücksichtigung der fraglichen Fälle angegeben. Drei geringgradige Stenosen wurden übersehen, wobei es sich in einem Fall um ulzerierte Wandveränderungen ohne nennenswerte Lumeneinengung handelte (Operationsbefund). 25 von 32 mittelgradigen Stenosen wurden im Echogramm richtig beurteilt, in 4 Fällen war die A. carotis interna nicht sicher ableitbar, 3 Stenosen wurden in ihrem Ausmaß unterbewertet.

In der Gruppe der 33 angiographisch als hochgradig beurteilten Stenosen kam es zu einem deutlichen Abfall der Treffsicherheit: nur 13 Stenosen wurden auch im Echogramm als hochgradig betrachtet. In 18 Fällen waren zwar pathologische Veränderungen zu vermuten, eine sichere Bewertung war jedoch nicht möglich. Zwei Stenosen wurden unterbewertet, wobei sich in einem Fall intraoperativ herausstellte, daß der Doppler- und Echo-sonographisch erhobene Befund besser mit den tatsächlichen Verhältnissen übereinstimmte als die Röntgen-Angiographie. In einem anderen Fall war die Zweitspanne zwischen Doppler- und Echo-Untersuchung einerseits und Angiographie und Operation andererseits so groß, daß eine Zunahme des Stenosierungsgrades nicht auszuschließen ist.

Ähnlich schlechte Ergebnisse zeigten sich bei den Verschlüssen, die in der überwiegenden Zahl der Fälle nicht als solche erkannt werden konnten. Zwar war das Lumen der thrombosierten Gefäße meist etwas enger und zeigte gegenüber offenen Gefäßen verstärkt feine Binnenechos, frische Thromben waren jedoch nicht oder nur wenig schalldichter als strömendes Blut. Weiterhin gab das Fehlen der Querpulsationen der Gefäßwand zwar oft einen Hinweis für einen Verschluß, aufgrund der Mitbewegungen der A. carotis interna bei verstärkt durchbluteter und damit verstärkt pulsierender A. carotis externa (z.B. bei Ophthalmica-Kollateralen) wurden jedoch oft Pulsationen vorgetäuscht.

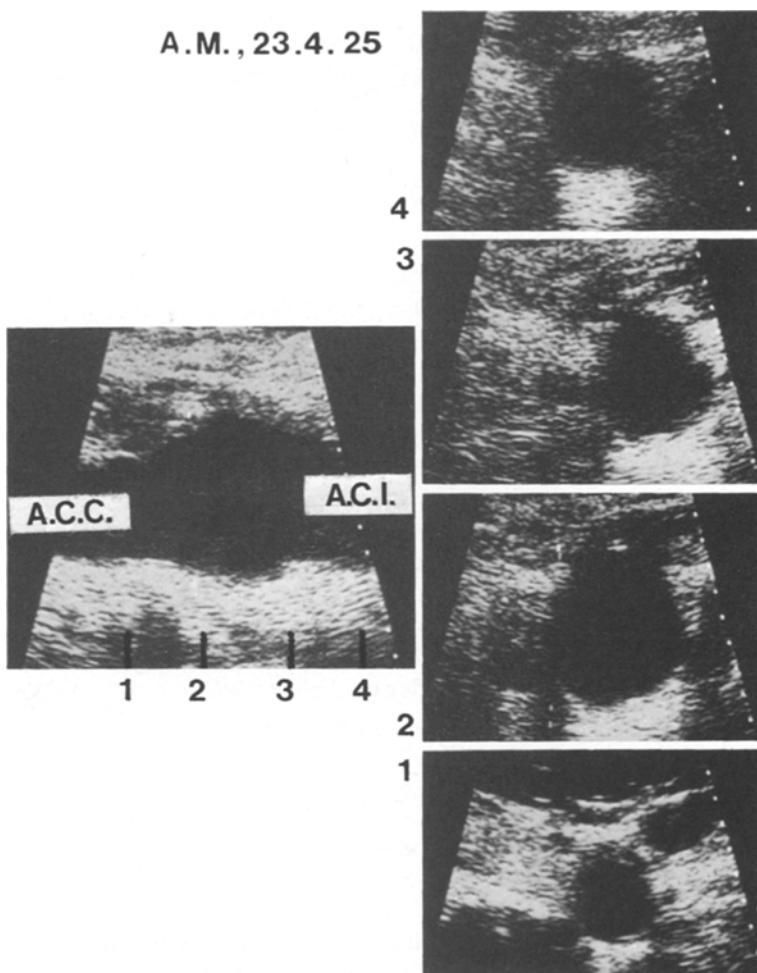


Abb. 5. Aneurysmatische Erweiterung des Abganges der A. carotis interna nach Thrombendarteriektomie mit eingesetztem Venenpatch. *Links:* Längsschnitt; *rechts:* Querschnitte in verschiedenen Höhen

Wichtigstes, bislang nicht beschriebenes Kriterium bei der Erkennung von Verschlüssen war das Phänomen der Längspulsationen (Abb. 4). Gemeint ist ein kräftiges, überschießendes Pulsieren im präokklusiven Bereich in Richtung des verschlossenen Gefäßes, das besonders gut zu beobachten war, wenn schalldichte Plaques im Verschlußbereich eingelagert waren, die sich pulssynchron in Längsrichtung des Gefäßes hin und her bewegten. In einem Fall fand sich sowohl Doppler- als auch Echo-sonographisch eine subtotale Stenose, die eine Woche später durchgeführte Angiographie zeigte einen Totalverschluß. Bei der einen Monat später durchgeföhrten Ultraschall-Kontrolle konnte jetzt auch der Verschluß nachgewiesen werden. Da subtotale Stenosen dazu tendieren, innerhalb kurzer Zeit einen Totalverschluß auszubilden [22], dürfte es sich daher mit einiger Wahrscheinlichkeit um einen richtigen Ultraschall-Befund gehandelt haben.

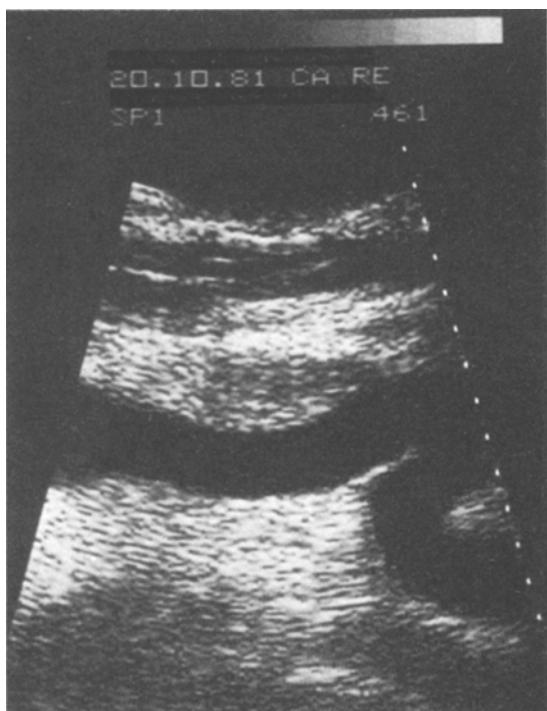


Abb. 6. W.E., 7. 1. 1937: Kinking der rechten A. carotis interna bei relativ proximal liegender Carotisbifurkation

Weiterhin fanden sich in unserem Patientenkollektiv 2 Aneurysmata im Abgangsbereich der A. carotis interna. In einem Fall handelte es sich um einen Patienten, der mit Verdacht auf einen Glomustumor zu uns kam und der bislang noch nicht angiographiert wurde, im anderen Fall um einen Zufallsbefund bei einer postoperativen Kontrolle nach Carotis-Thrombendarteriektomie (TEA). Bei der anschließenden Angiographie zeigte sich im Bereich des eingesetzten Venenpatchs eine aneurysmatische Erweiterung auf einen Durchmesser von 1,7 cm (Abb. 5). Außerdem konnten wir eine Schleifenbildung der A. carotis interna darstellen, die ebenfalls angiographisch bestätigt werden konnte (Abb. 6).

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse bei Kombination von Doppler-Sonographie und Echo-Arteriographie. Im Gegensatz zur alleinigen Anwendung von Doppler-Sonographie oder Echo-Arteriographie liegt die Treffsicherheit hierbei sowohl für gering- als auch für hochgradige Stenosen immer in der Größenordnung von 80% oder mehr, was die exakte Beurteilung des Stenosierungsgrades betrifft und bei 95% hinsichtlich des richtigen Erkennens pathologischer Gefäßveränderungen. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich auch für die Treffsicherheit der kombinierten Ultraschall-Untersuchung im Vergleich mit den intraoperativ vorgefundenen Lumeneinengungen (Tabelle 4), wobei aufgrund der geringen Zahl operierter Stenosen unter 50% Lumeneinengung die Prozentangaben kritisch zu werten sind. In 97% aller Fälle wurde jedoch das Vorhandensein pathologischer Gefäßveränderungen richtig erkannt.

Tabelle 3. Treffsicherheit der Kombination von indirekter/direkter Doppler-Sonographie und Echo-Arteriographie im Vergleich zu Angiographic

Angiographischer Befund	N	Beurteilung im Doppler-Sono- und Echo-Arteriogramm				Schalldicht/ nicht sicher beurteilbar	Andere Befunde	Treff- sicherheit
		Normal	1-39%	40-69%	70-99%			
Normal	28	22	5 (2) ^a	1	—	—	—	79% (89%)
1-39%	25	3	20	2 (0) ^a	—	—	—	80% (89%)
40-69%	32	—	3	26	—	—	3	81%
70-99%	33	—	—	2 (0) ^b	31	—	—	94% (100%)
Verschluß	18	—	—	—	1 (0) ^c	17	—	94% (100%)
Andere Befunde	2	—	—	—	—	—	1 Aneurysma — 1 Kinking	

Spezifität (Normalbefunde): 79% (89%)

Sensitivität (sicher pathologische Befunde): 95%

^a In den anderen Fällen war die Angiographie jeweils nur in 1 Ebene sicher beurteilbar, so daß Fehlbeurteilungen nicht auszuschließen sind. Eine operative Freilegung der Karotisgabel erfolgte nicht

^b In 1 Fall stimmte der Doppler-sono- und Echo-arteriographische Befund mit der intraoperativ beschriebenen Lumeneinengung überein; im anderen Fall fand die Angiographie und Operation erst einen Monat nach der sonographischen Abklärung statt, so daß eine in der Zwischenzeit aufgetretene Verstärkung der Stenose nicht auszuschließen ist

^c Sowohl Doppler-sono- als auch Echo-arteriographisch fand sich eine subtotale Stenose, die 1 Woche später durchgeführte Angiographie zeigte einen Totalverschluß. Bei einer sonographischen Kontrolluntersuchung einen Monat später konnte dieser bestätigt werden

Tabelle 4. Treffsicherheit der Kombination von indirekter/direkter Doppler-Sonographie und Echo-Arteriographie im Vergleich mit der intraoperativen Schätzung der Lumeneinengung

Operationsbefund	N	Beurteilung im Doppler-Sono- und Echo-Arteriogramm				Treffsicherheit
		< 50%	> 50%	Schalldicht bzw. nicht beurteilbar	Normal	
< 50%	9	7	1 ^a	—	1 ^b	78%
> 50%	53	3	49	1	—	92%
						62

^a Stenosierungsgrad sowohl sonographisch als auch angiographisch auf etwa 60% geschätzt.
Im Operationsbericht werden lediglich „mäßige“ Wandveränderungen angegeben

^b Ulcerierte Wandveränderungen ohne nennenswerte Lumeneinengung

Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß der Echo-Arteriographie eine große Bedeutung im Rahmen der nicht-invasiven Diagnostik extrakranieller Gefäßerkrankungen zukommt. Im Gegensatz zu den zitierten Autoren, die sich mit dem Verfahren beschäftigt haben, sind wir jedoch der Ansicht, daß es nicht sinnvoll ist, die Echo-Arteriographie als alleinige Methode anzuwenden, da ihre Aussagefähigkeit bei höhergradigen Stenosen und Verschlüssen stark eingeschränkt ist. Nur in Kombination mit der direktionellen Doppler-Sonographie ist es möglich, Gefäßeinengungen aller Grade mit einer Treffsicherheit von 95% nachzuweisen, eine Genauigkeit, die mit den bisher üblichen nicht-invasiven Methoden nur bei Stenosen über 50% Lumeneinengung erreicht wird. Doppler-Sonographie und Echo-Arteriographie sind somit nicht als konkurrierende, sondern als sich ergänzende Methoden aufzufassen, wobei die Doppler-sonographische Lagebestimmung und Gefäß-Identifizierung Voraussetzung für die Echo-arteriographische Beurteilung der Gefäße ist. Obwohl es oft sehr eindrucksvoll war, wie schnell schalldichte und damit schattenwerfende Plaques erkannt werden konnten, teilen wir die Meinung von Zeitler und Mitarbeitern [26] nicht, das Echobild sei einfach zu deuten. Der wichtigste Grund dafür ist, daß es, wie bereits beschrieben, in der Mehrzahl der Fälle nicht möglich war, die Bifurcation „angiographie-ähnlich“ abzubilden. Außerdem liegen stenosierende Prozesse meist nicht nur in einer Ebene, so daß für die Beurteilung eines Gefäßes der „dreidimensionale“ Eindruck während der Untersuchung mit bewegtem Schallkopf ausschlaggebend ist. Hierfür ist jedoch Erfahrung erforderlich, vor allem wenn der Gefäßverlauf nicht geradlinig ist. In diesem Zusammenhang ist die Mitteilung von Comerota und Mitarbeitern [6] erwähnenswert, die eine Beziehung zwischen der Abbildungsqualität und dem Ausmaß einer Stenose fanden. Wir konnten dies bestätigen: Ein schlecht darstellbares Gefäß mit unklaren Gefäßgrenzen war auch bei Nichtvorliegen von

schalldichten Plaques suspekt auf eine Stenosierung, umgekehrt waren praktisch alle unauffälligen Carotiden klar abbild- und abgrenzbar.

Die Tatsache, daß in einem Fall mit Sicherheit, in weiteren 5 Fällen mit großer Wahrscheinlichkeit Stenosen im Röntgen-Angiogramm übersehen oder falsch eingeschätzt wurden, wirft die Frage auf, ob es Bereiche gibt, in denen die Echo-Arteriographie der Röntgen-Angiographie hinsichtlich der morphologischen Genauigkeit überlegen ist und ob in Zukunft das Röntgen-Angiogramm der adäquate Maßstab für die Beurteilung der Zuverlässigkeit von Methoden wie der Echo-Arteriographie bleiben kann. Die Annahme, daß vor allem bei geringgradigen Lumeneinengungen die Ergebnisse der Echo-Arteriographie eher mit den wirklichen anatomischen Verhältnissen korrelieren als die Ergebnisse der Angiographie, wird durch die Arbeiten verschiedener Autoren gestützt [3, 8, 10, 11], die die Treffsicherheit der Angiographie im Vergleich zum Operationsbefund überprüften und dabei vor allem bei geringgradigen, ulzerierten Plaques erhebliche Differenzen fanden.

Die wichtigste Einsatzmöglichkeit der Echo-Arteriographie stellt die Untersuchung von Patienten mit transitorischen ischämischen Attacken (TIA) dar, bei denen Doppler-sonographisch keine häodynamisch relevanten Stenosen oder Verschlüsse nachgewiesen werden konnten. Bei Operationsfähigkeit dieser Patienten mußte hier in jedem Fall eine angiographische Abklärung angestrebt werden, um mäßige, ulzerierte Stenosen, die Doppler-sonographisch meist übersehen werden, aber als Streuherd von Emboli in Frage kommen, auszuschließen [10, 16, 24]. Die Echo-Arteriographie ermöglicht es, bei TIA die Indikation zur Angiographie weiter einzuschränken auf die Fälle, bei denen pathologische Wandveränderungen im Bereich der A. carotis bei sonst unauffälligem Doppler-Sonogramm gefunden werden. Beim kompletten Schlaganfall (Stad. IV) dagegen bringt die Echo-Arteriographie gegenüber der allein angewandten Doppler-Sonographie keine nennenswerte Verbesserung, da in diesen Fällen von vornherein eine gefäßchirurgische Thrombendarterektomie nur in Ausnahmefällen indiziert ist [23] und prophylaktisch asymptomatiche Stenosen der Gegenseite nur bei erheblichem Stenosierungsgrad operiert werden. Die präoperative angiographische Abklärung ist unseres Erachtens jedoch in den meisten Fällen nach wie vor erforderlich, um zusätzliche intrakranielle Strömungshindernisse auszuschließen, die dann evtl. eine Indikation für eine extra-intrakranielle Bypass-Operation darstellen. Die Frage der optimalen (operativen oder konservativen) Therapie asymptotischer Carotisstenosen ist bislang noch nicht geklärt. Gerade hier aber ergibt sich ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich der Echo-Arteriographie, denn auch wenn solche asymptotischen Stenosen primär nicht operiert werden sollten, ist es auf jeden Fall wichtig, Stenosen nachzuweisen und in ihrer Entwicklung unter Therapie (z. B. Thrombozytenaggregationshemmer, Behandlung von Diabetes und Hypertonie, Raucherentwöhnung, Diät) zu überwachen. Der wesentliche Vorteil liegt hier in der beliebigen Wiederholbarkeit, da die Untersuchung für den Patienten keinerlei Gefährdung mit sich bringt.

Ergänzend zur Doppler-Sonographie kann die Echo-Arteriographie auch zur Kontrolle des Erfolges von Carotis-Thrombendarterektomien eingesetzt werden. Allerdings ist die Carotisgabel in den ersten Tagen nach der Operation oft

schlecht oder nicht darzustellen. Die Ursache hierfür liegt in der postoperativen Schwellung im Halsbereich, die zum einen relativ schalldicht ist und zum anderen die Gefäße in den Grenzbereich der Eindringtiefe verlagert. Etwa 1 Woche nach der Operation ist das Gefäß einschließlich des Patchs jedoch so gut darstellbar, daß auch feine Wandveränderungen und eventuell Nahtunregelmäßigkeiten sichtbar sind. Neben der bisher bereits bekannten Möglichkeit der Doppler-Sonographie, die Durchgängigkeit der A. carotis interna nach der Operation zu überprüfen, kann damit jetzt auch der Operationsbereich selbst auf pathologische Veränderungen hin beurteilt werden (Abb. 5).

Die vorliegende Arbeit basiert auf der getrennten Anwendung von „continuous wave“ (cw) Doppler-Sonographie und B-Bild-Echo. In jüngster Zeit wird in einigen Geräten die Möglichkeit einer gleichzeitigen „gepulsten“ Doppler- und Echo-Untersuchung geboten, wobei mit einem Lichtzeiger auf dem Bildschirm markierbare Punkte im Echogramm auf ihren Doppler-Frequenzinhalt hin analysiert und so Gefäße identifiziert und Turbulenzen bestimmten Gefäßabschnitten zugeordnet werden können. Bislang liegen über diese Kombination jedoch nur wenige Ergebnisse vor [1, 19], was möglicherweise mit technischen Schwierigkeiten bei der Handhabung des integrierten Doppler-Geräts zusammenhängt [6]. Der unseres Wissens nach einzige Vergleich der Ergebnisse des „Duplex-Scan“ mit der Röntgen-Angiographie (bei 66 Carotiden) stammt von Blackshear und Mitarbeitern [1]. Bei insgesamt 45 Stenosen mit einer Lumeneinengung über 10% betrug die Treffsicherheit 84%, was mit unseren Ergebnissen übereinstimmt. Von 4 Verschlüssen wurde einer als hochgradige Stenose angenommen, wobei allerdings zwischen Ultraschalluntersuchung und Angiographie eine Zeitspanne von 6 Wochen lag. Die mäßige Treffsicherheit von 44% bei Wandunregelmäßigkeiten könnte ihre Ursache in der relativ schlechten Auflösung des von Blackshear verwendeten Echo-Geräts mit einer Frequenz von 5 MHz haben.

Obwohl wir selbst bislang keine Erfahrung mit solch einem kombinierten Ultraschallgerät besitzen, erscheint es uns wahrscheinlich, daß damit weniger Einarbeitungszeit erforderlich ist und es auch dem vor allem doppler-sonographisch wenig Erfahrenen zusammen mit der integrierten Frequenzanalyse [2] besser möglich ist, Gefäße zu identifizieren und Ergebnisse zu deuten. Demgegenüber steht allerdings der weitaus höhere Anschaffungspreis solcher Geräte in der Größenordnung von derzeit 200-250 000 DM. Hochauflösende Ultraschall-B-Bild-Geräte ohne Doppler-Signalanalyse sind jedoch bereits für unter 100 000 DM auf dem Markt, außerdem ist es nach unserer Erfahrung möglich, in vielen Kliniken schon vorhandene, mit relativ geringem Aufwand modifizierte Abdominal-Ultraschallgeräte (Sector-Scan mit Wasservorlaufstrecke oder Linear-Array-Scan mit höherfrequentem Schallkopf) als Zusatz zur üblichen Doppler-Sonographie mit gutem Erfolg einzusetzen [25]. Der benötigte Zeitaufwand der getrennten Doppler- und Echo-Untersuchung erhöht sich gegenüber der allein durchgeführten indirekten und direkten Doppler-Sonographie nicht wesentlich, da sich die Doppler-Untersuchung auf den Nachweis höhergradiger Stenosen beschränken kann und feine, grenzwertige Geräuschunterschiede aufgrund der nachfolgenden Echo-Untersuchung nicht berücksichtigt werden müssen. Dies ist zur Zeit der gangbarste Weg, diese wirksamen Methoden einer

möglichst großen Zahl von Kranken verfügbar zu machen, da kombinierte Geräte voraussichtlich den großen Kliniken vorbehalten bleiben.

Literatur

1. Blackshear WM, Phillips DJ, Thiele BL, Hirsch JH, Chikos PM, Marinelle MR, Ward KJ, Strandness DE (1979) Detection of carotid occlusive disease by ultrasonic imaging and pulsed doppler spectrum analysis. *Surgery* 86 : 698-706
2. Blackshear WM, Phillips DJ, Chikos PM, Harley JD, Thiele BL, Strandness DE (1980) Carotid artery velocity patterns in normal and stenotic vessels. *Stroke* 11 : 67-71
3. Blaisdell FW, Glickman M, Trunkey DD (1974) Ulcerated atheroma of the carotid artery. *Arch Surg* 108 : 491-496
4. Blue SK, McKinney WM, Barnes R, Toole JF (1972) Ultrasonic B-mode scanning for study of extracranial vascular disease. *Neurology* 22 : 1079-1085
5. Büdingen HJ, Reutern G-M von, Freund H-J (1976) Die Differenzierung der Halsgefäße mit der direktionellen Doppler-Sonographie. *Arch Psychiatr Nervenkr* 222 : 177-190
6. Comerota AJ, Cranley JJ, Cook SE (1981) Realtime B-mode carotid imaging in diagnosis of cerebrovascular disease. *Surgery* 89 : 718-729
7. Cooperberg PL, Robertson WD, Fry P, Screeny V (1979) High resolution realtime ultrasound of the carotid bifurcation. *J Clin Ultrasound* 7 : 13-17
8. Croft RJ, Ellam LD, Harrison MJG (1980) Accuracy of carotid angiography in the assessment of atheroma of the internal carotid artery. *Lancet* 10 : 997-1000
9. Diener HCh, Dichgans J (1979) Atraumatische Diagnostik extrakranieller Gefäßstenosen und -verschlüsse. *Internist* 20 : 531-538
10. Edwards JH, Kricheff II, Riles T, Imparato A (1979) Angiographically undetected ulceration of the carotid bifurcation as a cause of embolic stroke. *Radiology* 132 : 369-373
11. Gomensoro JB, Maslenikov V, Azambuja N, Fields WS, Lemak NA (1973) Joint study of extracranial arterial occlusion. VIII. Clinical-radiographic correlation of carotid bifurcation lesions in 177 patients with transient cerebral ischaemic attacks. *JAMA* 224 : 985-991
12. Hobson RW, Berry SM, Katoes AS, O'Donnell JA, Jamil Z, Savitsky JP (1980) Comparison of pulsed doppler and real-time B-mode echo arteriography for noninvasive imaging of the extracranial carotid arteries. *Surgery* 87 : 286-293
13. Humber PR, Leopold GR, Wickbom IG, Bernstein EF (1980) Ultrasonic imaging of the carotid arterial system. *Am J Surg* 140 : 199-202
14. Kaick G van, Naser V (1979) Echographische Echtzeitdarstellung der Arteria carotis und der peripheren Arterien (Echoarteriographie). *Fortschr Röntgenstr* 130 : 391-394
15. Kornhuber HH, Widder B (1980) Zur Schlaganfall-Vorbeugung: Welches sind die besten Methoden zur Fahndung nach Carotis-Stenosen? *Arch Psychiatr Nervenkr* 228 : 11-20
16. Moore WS, Hall AD (1970) Importance of emboli from carotid bifurcation in pathogenesis of cerebral ischaemic attacks. *Arch Surg* 101 : 708-716
17. Müller HR (1971) Direktionelle Doppler-Sonographie der Arteria frontalis medialis. *EEG/EMG* 2 : 24-32
18. Olinger CP (1969) Ultrasonic carotid echoarteriography. *Am J Roentgen Radium Ther Nucl Med* 106 : 282-295
19. Ortega-Suhrkamp E, Kapp H, Reutern G-M von (1980) Erste Erfahrungen bei der Untersuchung der Karotiden mit dem Duplex-Scanner. In: Hinselmann M, Anliker M, Meudt R (Hrsg): *Ultraschalldiagnostik in der Medizin*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
20. Reutern G-M von, Büdingen HL (1981) Möglichkeiten und Grenzen der Dopplersonographie an den extrakraniellen Hirnarterien. *Ultraschall* 2 : 35-42
21. Reutern G-M von, Büdingen HJ, Hennerici M, Freund H-J (1976) Diagnose und Differenzierung von Stenosen und Verschlüssen der Arteria carotis mit der Doppler-Sonographie. *Arch Psychiatr Nervenkr* 22 : 191-207
22. Schurig E, Kriebel J, Fischler M, Sindermann F (1977) Verlaufsbeobachtungen bei subtotaler Carotisstenose. *Arch Psychiatr Nervenkr* 223 : 99

23. Vollmar J, Hamann H (1979) Operative Behandlung der zerebro-vaskulären Insuffizienz. Internist 20 : 547-552
24. Widder B, Kornhuber HH (1981) Zuverlässigkeit und Grenzen dopplersonographischer Untersuchungen der kranialen Arterien. Fortschr Röntgenstr 135 : 80-84
25. Widder B, Kornhuber HH, Rudofsky G, Meyer P (1982) Vergleich der Bildqualität und Auflösung verschiedener Ultraschallgeräte bei der Beurteilung von Carotisstenosen. Verlag Gerhard Witzstrock, Baden-Baden (im Druck)
26. Zeitler E, Greiling HW, Roth FJ, Friedmann G (1980) Computertomographie, B-Scan-Sonographie und zerebrale Angiographie bei Carotis-Obliterationen. Dtsch med Wochenschr 105 : 715-719

Eingegangen am 4. Januar 1982