

Diagnose und Differenzierung von Stenosen und Verschlüssen der Arteria carotis mit der Doppler-Sonographie

GERHARD-MICHAEL VON REUTERN, HANS JOACHIM BÜDINGEN,
MICHAEL HENNERICI und HANS-JOACHIM FREUND

Neurologische Klinik mit Abteilung für Neurophysiologie der Universität,
Hansastraße 9, D-7800 Freiburg i. Br., Bundesrepublik Deutschland

Eingegangen am 8. April 1976

THE DIAGNOSIS OF STENOSES AND OCCLUSIONS OF THE CAROTID ARTERIES BY MEANS OF DIRECTIONAL DOPPLERSONOGRAPHY

SUMMARY. The Doppler examination of the carotid arteries in the neck was compared with the results of the examination of the supratochlear artery and of the angiographic controls in 76 patients. The results of this study indicate that the insonation of the carotid arteries considerably improves the diagnostic possibilities offered by the examination of the supratochlear artery alone.

There are three main advantages:

1. The reliability of the Doppler examination is improved. The insonation of the carotid arteries of the 76 angiographically controlled patients including stenoses from 50% onward gave only one false-positive and one false-negative result. The percentage of correct diagnoses thereby attained was 97%.
2. The insonation of the carotid arteries permits reliable differentiation between stenoses and occlusions. This is not possible by the insonation of the supratochlear artery alone. There was only one case in which the distinction was wrong.
3. The localization of the pathologic process was possible in all cases. These conclusions are only valid for the detection of occlusions and stenoses of more than 50%. Low degree stenoses cannot be detected by this method.

KEY WORDS. Doppler-Sonography - Carotid Occlusion - Carotid Stenosis - Localization of Stenosis - Stroke.

ZUSAMMENFASSUNG. Bei 76 Patienten wurden die Ergebnisse der dopplersonographischen Untersuchungen der Karotiden am Hals mit denen der Aa. supratochlearis und mit den angiographischen Kontrollen verglichen. Dabei zeigte sich, daß die direkte selektive Beschallung der Aa. carotis communis, interna und externa am Hals eine wesentliche Verbesserung gegenüber der indirekten Untersuchung nur der Aa. supratochlearis er-

reicht. Diese läßt sich in drei Punkten zusammenfassen:

1. Die Häufigkeit falsch-positiver und falsch-negativer Befunde ist deutlich geringer als an der A. supratrochlearis. Von 76 angiographisch kontrollierten Fällen wurden bei der Untersuchung der Karotiden am Hals jeweils nur ein falsch-negativer und ein falsch-positiver Befund erhoben. Damit wird die diagnostische Zuverlässigkeit auf 97% erhöht. In diesem Kollektiv sind auch die mittelgradigen Stenosen (50% Lumeneinengung) enthalten.
2. Die Beschallung der Karotiden erlaubt die zuverlässige Differenzierung zwischen Stenose und Verschluß. Nur in einem Fall war diese nicht richtig. Durch Untersuchung der A. supratrochlearis allein ist diese Unterscheidung nicht möglich.
3. Die Lokalisation der Strömungsbehinderung gelang in allen Fällen. Diese Aussagen beziehen sich nur auf die Erfassung von Verschlüssen und mittel- bis höhergradigen Stenosen. Für die zuverlässige Diagnostik geringerer Stenosen (< 50% Lumeneinengung) ist die Methode ungeeignet.

SCHLÜSSELWÖRTER. Doppler-Sonographie - Karotisverschluß - Karotisstenose - Stenoselokalisation - Schlaganfall.

EINLEITUNG

Die Erfahrungen mit der direktionellen Doppler-Sonographie der A. supratrochlearis zeigten, daß sich diese Methode [11, 12] zur Erkennung von höhergradigen Stenosen und Verschlüssen der A. carotis interna eignet [1, 6, 9, 13]. Übereinstimmend wird die Zuverlässigkeit ihrer Erkennung mit etwa 90% angegeben. Höhergradige Stenosen und Verschlüsse werden übersehen [1, 12], wenn über den Circulus arteriosus Willisii eine gute Kollateralzirkulation besteht. Für die Erkennung niedrig- und mittelgradiger Stenosen sowie die Differenzierung zwischen einer Stenose oder einem Verschluß ist die Ableitung von der A. supratrochlearis ebenso wenig geeignet wie für die Lokalisation einer Strömungsbehinderung. Sie ist somit eine relativ grobe Suchmethode.

In der vorausgegangenen Arbeit wurde festgestellt, daß die Halsarterien zuverlässig identifiziert und selektiv beschallt werden können. Von besonderem Interesse ist dies für die Karotisbifurkation, wo stenosierende Gefäßwandveränderungen am häufigsten zu finden sind [3].

In der vorliegenden Arbeit wird anhand angiographisch kontrollierter Fälle untersucht, ob durch die Ausdehnung der Doppler-Untersuchungen auf die Halsgefäße

1. die sichere Differenzierung zwischen einer Stenose oder einem Verschluß der A. carotis interna gelingt
2. die Lokalisation der Strömungsbehinderung möglich ist und
3. die diagnostische Sicherheit gegenüber der alleinigen Beschallung der A. supratrochlearis erhöht werden kann.

METHODIK UND KRANKENGUT

Mit dem direktionellen Ultraschall-Doppler-Gerät der Firma Delalande (Débitmètre Ultrasonique Directionelle) wurden an unserer

Klinik von Juli 1975 bis Februar 1976 1080 Patienten zum Nachweis oder Ausschluß einer stenosierenden Gefäßerkrankung der Karotiden oder Vertebralarterien untersucht. In allen Fällen wurde beidseits die A. supratrochlearis beschallt, in 610 Fällen zusätzlich die A. carotis communis, A. carotis interna und A. carotis externa. Die Untersuchung der Karotiden wurde durchgeführt, wenn

1. an der A. supratrochlearis ein abnormer Befund erhoben wurde und
2. wenn bei unauffälligem Befund an der A. supratrochlearis anamnestisch oder nach dem klinisch-neurologischen Befund Hinweise für eine Strömungsbehinderung der Karotiden vorlagen.

Die anatomischen, physikalischen, physiologischen und pathophysiologischen Grundlagen der Ultraschall-Doppler-Sonographie und der Untersuchungsgang zur Identifizierung der Halsgefäße wurden bereits ausführlich beschrieben [2, 6, 11, 15, 18]. Die wesentlichen Anastomosen zwischen der A. carotis interna und externa sowie die Kollateralverbindungen der Karotissysteme beider Seiten und des Karotis- und Vertebralissystems über den Circulus arteriosus Willisii sind in Abb. 4 der vorausgegangenen Arbeit [2] halbschematisch dargestellt.

116 normale und pathologische Dopplerbefunde wurden durch nachfolgende Angiographie der extrakraniellen Hirnarterien (Brachialis-, und/oder Karotis-, und/oder Aortenbogenangiographie) überprüft. In dieser Zahl sind auch die angiographisch kontrollierten Fälle mit Strömungsbehinderungen im vertebro-basilären System und bei Subclavian-Steal-Syndrom enthalten, die in der folgenden Arbeit beschrieben werden [17].

ERGEBNISSE

I. Pathologische Befunde bei Beschallung der A. supratrochlearis

Nach abnehmender Zuverlässigkeit [1] weisen folgende Dopplerbefunde bei Beschallung der A. supratrochlearis auf eine Strömungsbehinderung im Verlauf der A. carotis interna zwischen Karotisbifurkation und Abgang der A. ophthalmica aus dem Karotissiphon hin: 1. Retrograde Durchströmung der A. supratrochlearis über Äste der A. carotis externa, 2. nicht nachweisbare Strömung in der A. supratrochlearis und 3. bei orthograder Durchströmung dieses Gefäßes, eine deutliche Amplitudendifferenz (> 50%) der Strömungssignale bei Vergleich beider Seiten. Sichere Hinweise auf das Ausmaß der Strömungsbehinderung oder deren Lokalisation gibt keiner der genannten Befunde (s. auch Diskussion und Tabelle 3).

Im Folgenden wird untersucht, ob hierüber durch die Untersuchung der Karotiden im Halsbereich zusätzliche und zuverlässige Informationen, die nach dem Doppler-Sonogramm die Diagnose einer Stenose oder eines Verschlusses der A. carotis interna erlauben, erhalten werden können.

II. Pathologische Befunde bei direkter Beschallung der Karotiden im Halsbereich

A. Stenosen. Eine Stenose der A. carotis interna im extrakraniellen Verlauf (beurteilbar ab der Karotisbifurkation bis submandibulär) wurde angenommen, wenn eine umschriebene Strömungsbeschleunigung mit kranial davon verminderter Amplitude der Doppler-Pulskurve und akustisch wahrnehmbaren Turbulenzen gefunden wurde. Abbildung 1 zeigt ein typisches Beispiel. Angiographisch fand sich bei dem 64-jährigen Patienten, bei dem zwei flüchtige zerebrale Ischämien mit leichtem Halbseitensyndrom rechts vorausgegangen waren, eine etwa 80%ige Lumeneinengung der linken A. carotis interna an der Bifurkation.

Die Dopplerbefunde im einzelnen: Verminderte Amplitude der Strömungsgeschwindigkeit in der linken A. supratrochlearis bei orthograder Durchströmung, beidseits keine Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit

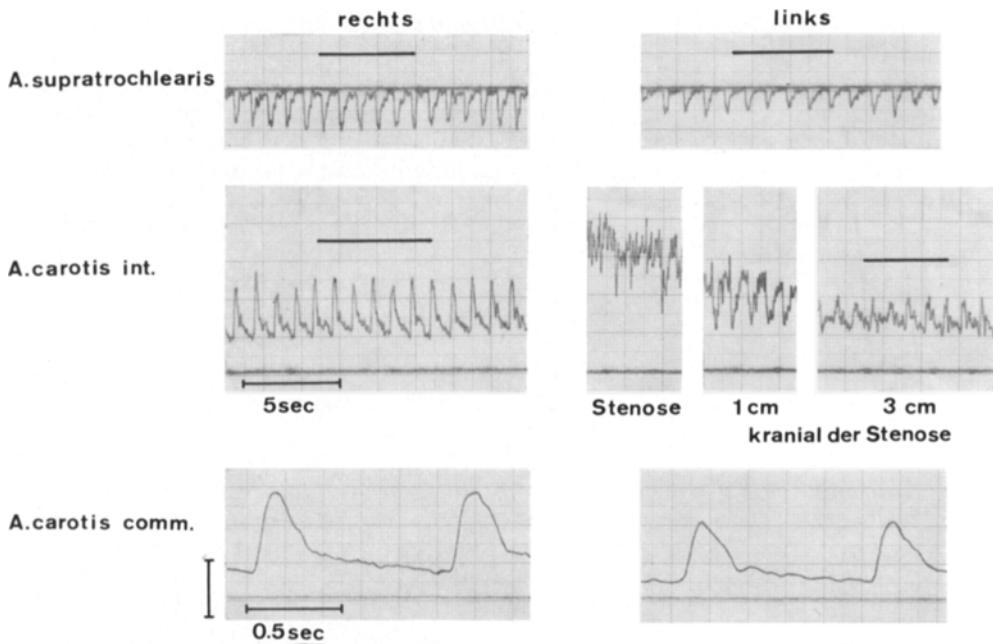


Abb. 1. Doppler-Pulskurven der A. supratrochlearis, A. carotis interna und A. carotis communis bei einem 64-jährigen Patienten mit hochgradiger Stenose der A. carotis interna an der Karotisbifurkation links. Durchgezogene Linie = Strömungsgeschwindigkeit O. Dauer der gleichzeitigen Kompression der ipsilateralen A. temporalis superficialis und A. facialis durch Balken über den Pulskurven markiert. Papiergeschwindigkeit: 5 mm/sec und 50 mm/sec. Amplitudeneichung für alle Kurven gleich. Physiologische Strömungsrichtung in der A. supratrochlearis: Ausschlag der Doppler-Pulskurven nach unten, in den Karotiden: nach oben [2]

bei Kompression der ipsilateralen A. temporalis superficialis und A. facialis; im Bereich der linken Karotisbifurkation über der A. carotis interna ein hochfrequentes Stenosegeräusch mit entsprechend hoher Strömungsgeschwindigkeit ohne deutliche pulsatile Schwankungen (Stenose), kranial davon akustisch Turbulenzen und verminderte Strömungsgeschwindigkeit. In der linken A. carotis communis verminderte Strömungsgeschwindigkeit ohne deutlichen Seitenunterschied des Verhältnisses von systolischer und diastolischer Strömungsgeschwindigkeit. Häufig findet sich allerdings in der A. carotis communis bei hochgradiger Lumeneinengung der A. carotis interna in ihrem proximalen oder distalen Verlauf eine deutliche Verminderung der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit

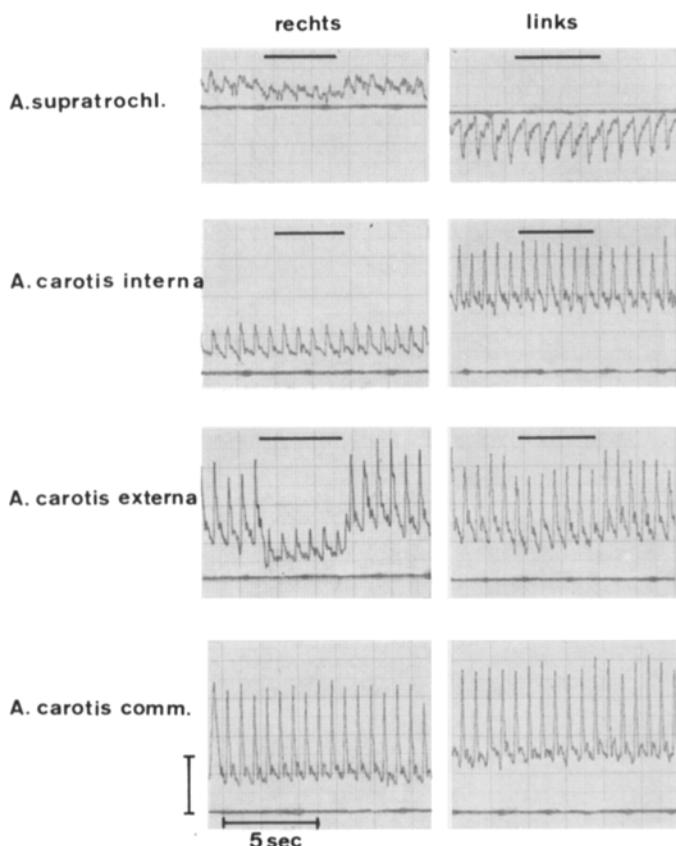


Abb. 2. Doppler-Pulskurven der (von oben nach unten) A. supratrochlearis, A. carotis interna, A. carotis externa und A. carotis communis bei einer 51-jährigen Patientin mit hochgradiger Stenose der A. carotis interna rechts vor Abgang der A. ophthalmica. Dauer der Kompression der Äste der A. carotis externa durch Balken über den Pulskurven markiert. Übrige Darstellung wie Abbildung 1

als Ausdruck des erhöhten peripheren Strömungswiderstandes. Auf diesen Befund wird später näher eingegangen.

Eine Stenose der A. carotis interna kranial des untersuchbaren Halsabschnitts und vor Abgang der A. ophthalmica aus dem Karotissiphon (meist Siphon-Stenosen) wurde angenommen, wenn an der A. supratrochlearis einer der oben genannten Befunde erhoben und bei selektiver Beschallung der A. carotis interna und A. carotis communis im Seitenvergleich eine deutlich verminderte Strömungsgeschwindigkeit gefunden wurde. In Abbildung 2 sind die typischen Befunde bei einer 51-jährigen Patientin dargestellt, die wegen eines langsam progredienten Halbseitensyndroms links stationär aufgenommen wurde. Die rechtsseitige Brachialangiographie ergab eine hochgradige Lumeneinengung der Interna im Bereich des Siphons bei einem entzündlichen Gefäßprozeß. Dopplerbefunde: Retrograde Durchströmung der rechten A. supratrochlearis mit Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit bei Kompression der ipsilateralen A. temporalis superficialis; deutlich verminderte Strömungsgeschwindigkeit in der A. carotis interna rechts, die wie üblich nicht durch Kompression eines Externaastes beeinflußt wird; leicht verminderte diastolische Strömungsgeschwindigkeit in der A. carotis communis derselben Seite. Die A. carotis externa wurde im Bifurkationsbereich untersucht und rechts durch Kompression von drei, links nur von einem ihrer Äste identifiziert, was die unterschiedliche Ausprägung des Kompressionseffektes erklärt.

B. Verschlüsse. Ein Verschluß der A. carotis interna ist anzunehmen, wenn sich kranial der Karotisbifurkation lediglich Äste der A. carotis externa nachweisen lassen. Abbildung 3 gibt die Dopplerbefunde eines 48-jährigen Patienten wieder, der wegen einer latenten Hemiparese rechts untersucht wurde. Die linksseitige Karotisangiographie zeigte einen Verschluß der A. carotis interna etwa 3 cm distal der Bifurkation bei fibromuskulärer Dysplasie.

Dopplerbefunde: Retrograde Durchströmung der A. supratrochlearis links mit Umkehr in die physiologische Strömungsrichtung bei gleichzeitiger Kompression der ipsilateralen A. temporalis superficialis und A. facialis, über der linken A. carotis interna eine "Schaukelströmung" mit physiologischer Strömungsrichtung während der Systole und Strömungsumkehr in der Diastole; in der linken A. carotis communis fand sich eine deutlich verminderte systolische und diastolische Strömungsgeschwindigkeit. Die A. carotis externa konnte beidseits durch die genannten Kompressionstests identifiziert werden.

Eine derartige "Schaukelströmung" fanden wir bei allen drei Fällen, in denen die A. carotis interna mehrere Zentimeter kranial der Bifurkation verschlossen war. Weitaus häufiger ist der Verschluß direkt an der Bifurkation lokalisiert, wobei dann ausschließlich Äste der A. carotis externa gefunden werden. Wesentlich ist hierbei eine sorgfältige Untersuchung des gesamten kranialen Halsabschnitts mit eindeutiger Identifizierung der auffindbaren Arterien (s. vorausgegangene Arbeit).

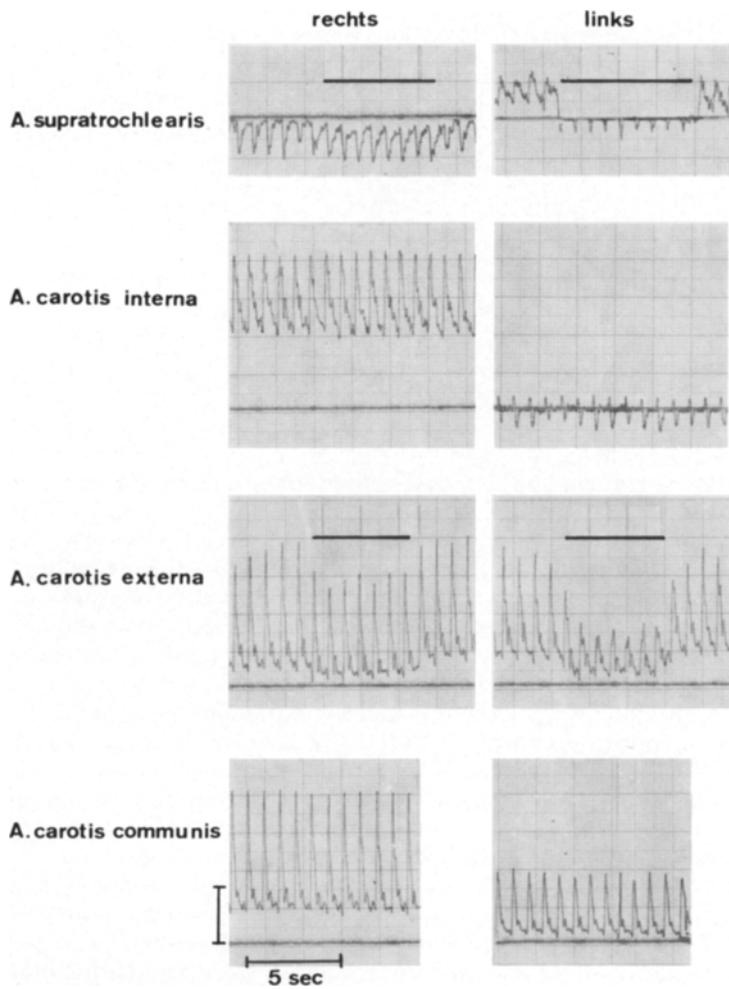


Abb. 3. Doppler-Pulskurven der (von oben nach unten) A. supratrochlearis, A. carotis interna, A. carotis communis eines 48-jährigen Patienten mit Verschluß der A. carotis interna links ca. 3 cm distal der Karotisbifurkation

III. Vergleich der Doppler- und Angiographiebefunde

Im Folgenden wird zunächst nur über die Korrelation der an den Halsarterien erhobenen Dopplerbefunde mit den Angiogrammen berichtet. Nur 50% aller pathologischen Dopplerbefunde wurden angiographisch kontrolliert. Die anderen Patienten mit pathologischen Dopplerbefunden wurden wegen erhöhten Risikos oder fehlender therapeutischer Konsequenzen nicht angiographiert. Auch wirkt sich bereits die erreichte diagnostische Zuverlässigkeit der Doppler Untersuchung erheblich auf die Indikationsstellung zur Angiographie aus. Von den insgesamt 505 dopplersonographischen Normalbefunden wurden nur 8% angiographiert.

Tabelle 1. Anzahl der angiographisch kontrollierten Dopplerdiagnosen

Dopplerdiagnose		durch Angiographie bestätigt
normal	n = 38	37
Stenose	n = 19	19
Verschluß	n = 19	18

Die Ergebnisse der Korrelation dopplersonographischer mit angiographischen Befunden sind in Tabelle 1 dargestellt.

Von 38 Patienten mit dopplersonographischen Normalbefunden waren 37 angiographisch ebenfalls normal. Ein Befund erwies sich als falsch-negativ. Das Angiogramm zeigte eine 70%ige Interna-Abgangs-Stenose. Die a. p. -Aufnahmen gaben die Erklärung für die falsche Dopplerdiagnose. Es handelte sich um eine komplettete Überlagerung der A. carotis interna durch die A. carotis externa im Stenose-Bereich.

Bei 19 Patienten mit der dopplersonographischen Diagnose eines Karotisverschlusses stimmte diese in 18 Fällen. Einmal wurde ein Verschluß angenommen, angiographisch fand sich aber eine hochgradige Interna-Stenose vor Eintritt in die Schädelbasis. Alle 19 Dopplerdiagnosen einer Karotisstenose wurden angiographisch bestätigt. In allen Fällen, in denen die Doppler- und Angiographiediagnose übereinstimmte, konnte die Lokalisation der Stromungsbehinderung dopplersonographisch richtig vorausgesagt werden. 17 Stenosen der A. carotis interna waren an der Bifurkation, 3 im Bereich des Karotissiphons lokalisiert.

Nach Schwergrad der Lumeneinengung aufgeschlüsselt, ergibt sich folgendes Bild: 17 Verschlüsse der A. carotis interna, 2 der A. carotis communis, 19 Stenosen (13 mit einer Lumeneinengung von 50-90%, 6 kurzstreckig und filiform).

Die Fragen, wie häufig z.B. eine retrograde Durchströmung der A. supratrochlearis durch einen Verschluß oder eine Stenose der A. carotis interna bedingt ist, oder umgekehrt, wie häufig ein Verschluß oder eine Stenose der Interna zu einer retrograden Durchströmung der A. supratrochlearis führen, werden in der Diskussion (Abb. 6) beantwortet. Hierbei wurden auch die früheren Ergebnisse nach Untersuchung allein der A. supratrochlearis [1] berücksichtigt.

IV. Übereinstimmung der Dopplerbefunde an der A. supratrochlearis und A. carotis interna

Die Übereinstimmung der Dopplerbefunde an der A. supratrochlearis und der Dopplerdiagnosen, wie sie nach direkter Beschallung der Karoti-

den gestellt wurden, ist mit dem angiographischen Ergebnis zusammenfassend in Tabelle 2 wiedergegeben. Das Außmaß der Strömungsbehinderung kommt hierin nicht zum Ausdruck. Nach dem Dopplerbefund an der A. supratrochlearis wurden drei Gruppen gebildet. In Gruppe I sind die Befunde zusammengefaßt, die nach früheren Untersuchungen [1] einen zuverlässigen Hinweis für eine Strömungsbehinderung der A. carotis interna geben (retrograde Durchströmung der A. supratrochlearis, kein nachweisbarer Fluß in diesem Gefäß, Amplitudenminderung im Seitenvergleich um mehr als 80%). Die Befunde der Gruppe II (Amplitudendifferenz von 50-80%) ergaben einen Hinweis für eine Strömungsbehinderung, sie erwiesen sich aber häufig als falsch positiv. Die Fälle mit Normalbefund an der A. supratrochlearis sind in Gruppe III zusammengefaßt.

Tabelle 2 zeigt die Abweichungen von Doppler-Befunden an der A. supratrochlearis und an den Karotiden. Am häufigsten sind Unterschiede in der Gruppe II zu finden, seltener in Gruppe I. Die Zahl von sechs angiographisch kontrollierten Fällen, in denen die Dopplerbefunde an der A. supratrochlearis und den Karotiden verschieden waren, ist zwar gering, die Dopplerdiagnose nach Befund an den Karotiden stimmte jedoch jedesmal.

Die Beschallung der Gefäße am Hals ergibt nicht nur häufiger eine richtige Diagnose im Hinblick auf das Vorliegen eines pathologischen Prozesses, sondern gestattet überhaupt erst die Differenzierung zwischen Stenosen und Verschlüssen. Dies ist in Tabelle 3 (Zusammenstellung aller Fälle der Gruppe I von Tabelle 2) dargestellt. Die drei relativ zuverlässigen Kriterien für das Vorliegen einer schweren Strömungsbehinderung, die in einer früheren Arbeit herausgearbeitet worden waren [1], finden sich sämtlich sowohl bei Verschlüssen als auch bei Stenosen. Es ist demnach als Ergebnis dieser Korrelation nicht möglich, anhand der Untersuchung der A. supratrochlearis allein zwischen einer Stenose und einem Verschluß zu unterscheiden. Dies stimmt mit früheren Untersuchungen anderer Autoren überein [6, 7, 11, 14] und steht im Gegensatz zu der Mitteilung von Kriebel & Schurig [9]. Jedesmal bestätigte in diesen Fällen die Angiographie die dopplersonographische Diagnose nach direkter Beschallung der Karotiden am Hals. Durch die Untersuchung der A. carotis communis konnte die dopplersonographische Diagnose zwar häufig zusätzlich gestützt werden, entscheidend war jedoch der direkte Nachweis einer Stenose oder der fehlende Nachweis einer A. carotis interna.

Ein Beispiel für die genauere Aussage der Dopplerbefunde am Hals zeigt Abbildung 4 bei einem 61-jährigen Patienten, der uns aus einem Rehabilitationszentrum für Herz- und Kreislaufkranke zur routinemäßigen Untersuchung vor einer aorto-koronaren Bypass-Operation überwiesen wurde. Koronarangiographisch waren hochgradige Einengungen von zwei Koronararterien nachgewiesen worden. Die Anamnese und der klinisch-neurologische Befund ergaben keinen Hinweis für eine Stenosierung der hirnversorgenden Arterien. Das Doppler-Sonogramm der linken A. supratrochlearis zeigte gegenüber rechts eine deutlich kleinere Amplitude des Strömungssignals bei orthograde Durchströmung und eine starke Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit bei Kompression der ipsilateralen Aa. temporalis superficialis und facialis. Danach war eine Lumeneinengung der A. carotis interna anzunehmen und bei direkter Beschallung fand sich im Bereich der Bifurkation eine umschriebene Strömungsbeschleunigung. Die Angiographie ergab eine etwa 60%ige Interna-Abgangs-Stenose.

Tabelle 2. Korrelation der dopplersonographischen Befunde an der A. supratrochlearis mit denen an den Karotiden und angiographischen Kontrollen. In der Rubrik: "Angiographische Kontrolle" bezieht sich "richtig" auf die Dopplerdiagnose nach Befund an den Karotiden.

Dopplerbefund an der A. supratrochlearis					
retrograder Fluß, O-Fluß Seitendifferenz > 80% n = 66	orthograder Fluß Seitendifferenz 50 - 80%		normal		
	Gruppe I		Gruppe II		Gruppe III
	n = 39	n = 39			n = 470
normal	pathologisch		normal	pathologisch	normal
Dopplerdiagnose nach Befund an den Karotiden	10	56	30	9	465 5
Angiographische Kontrolle	n = 3	30	1	6	34 2
richtig	3	30	1	5	33 2

Tabelle 3. Vergleich der Dopplerbefunde an den Karotiden und an der A. supratrochlearis für die Gruppe I in Tabelle 2 (zuverlässige Befunde an der A. supratrochlearis). In Klammern sind die angiographisch kontrollierten und ausnahmslos bestätigten Fälle angegeben (vgl. Tabelle 2). Ein großes arteriovenöses Angiom der linken Hemisphäre war Ursache für den Befund mit retrogradem Fluß in der A. supratrochlearis ohne Nachweis einer Strömungsbehinderung im Bereich der A. carotis bei direkter Beschallung.

Dopplerbefund an der A. supratrochlearis

Dopplerdiagnose nach Befund an den Karotiden	Stenose		retrograder Fluß		0-Fluß		orthograder Fluß mit Seitendifferenz > 80%		Summe	
	(n = 38)	(n = 26)	(n = 3)	(n = 7)	(n = 4)	(n = 4)	(n = 12)	(n = 12)	(n = 12)	(n = 12)
Verschluß	22 (14)		4 (1)		4 (3)		30 (18)		30 (18)	
Normalbefund	1 (1)		5 (2)		4 (0)		10 (3)		10 (3)	
									66 (33)	
									66 (33)	

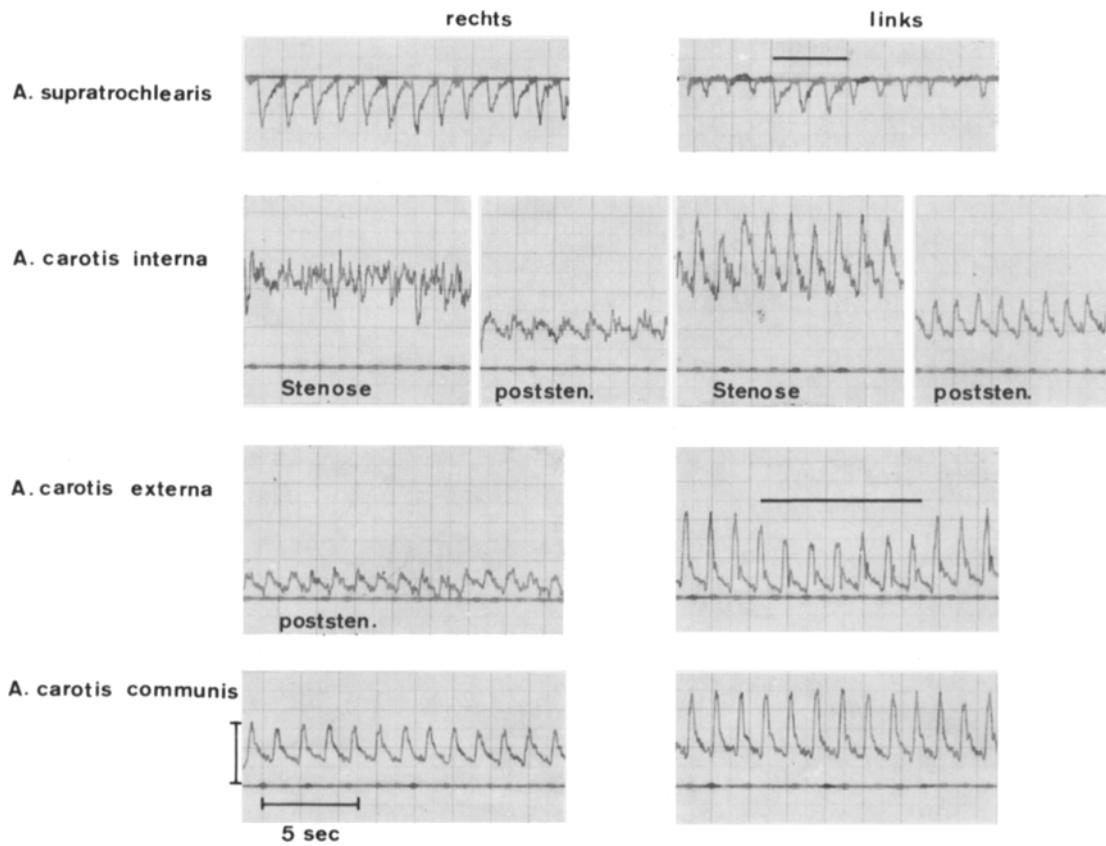


Abb. 4. Doppler-Pulskurven der (von oben nach unten) A. supratrochlearis, A. carotis interna, A. carotis externa und A. carotis communis eines 61-jährigen Patienten mit Interna-Stenose links an der Karotisbifurkation und Interna- und Externa-Stenose rechts, ebenfalls an der Bifurkation.. Weitere Erklärungen siehe Abbildung 1 und Text

Über der rechten A. carotis interna fand sich ebenfalls eine Strömungsbeschleunigung ohne deutliche pulsatile Änderungen des Strömungssignals und von der A. carotis externa rechts war ein kleines Signal abzuleiten, was auf eine bifurkationsnahe Stenose auch dieses Gefäßes hinwies. Poststenotisch waren über der Aa. carotis interna und externa doppler-sono-graphisch turbulente Strömungsgeräusche wahrnehmbar. Das Aortenbogenangiogramm ergab rechts eine etwa 80%ige Interna-Stenose an der Bifurkation und eine hochgradige Lumeneinengung auch der A. carotis externa. Hieraus erklärt sich der normale Befund an der A. supratrochlearis rechts: Der fehlende Gegendruck der A. carotis externa im Bereich der Wasserscheide zwischen Interna- und Externa-Kreislauf in der Stirn-Nasen-Region führte zu einer guten, orthograden Durchströmung der

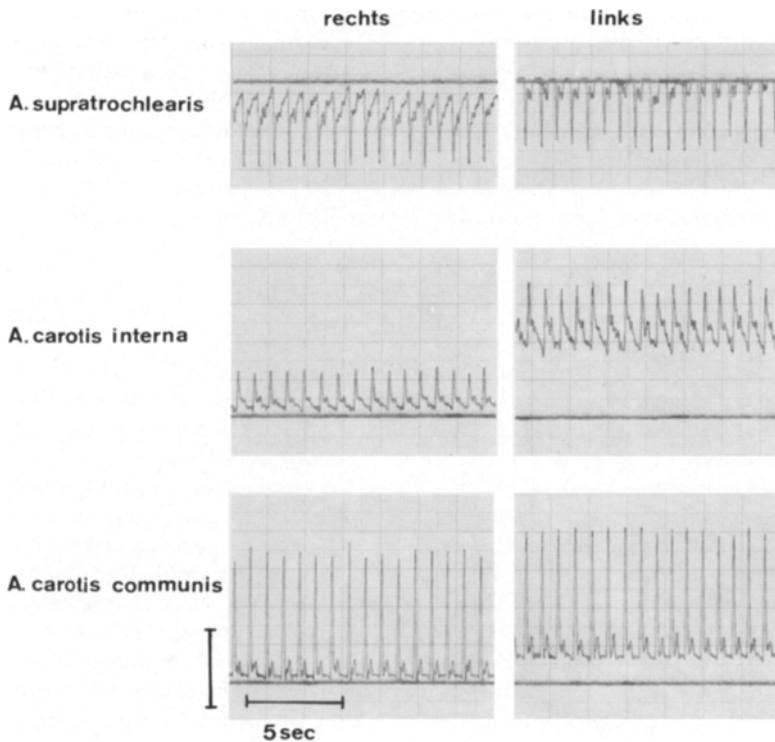


Abb. 5. Doppler-Pulskurven der (von oben nach unten) A. supratrochlearis, A. carotis interna und A. carotis communis bei einer 18-jährigen Patientin mit Media-Hauptstammverschluß rechts. Weitere Erklärungen siehe Abbildung 1 und Text

A. supratrochlearis. Zum klinischen Befund ist nachzutragen, daß bei der Gefäßauskultation über beiden Korotiden kein Stenosegeräusch bemerkt wurde. In diesem Zusammenhang ist interessant, daß bei bisher (seit 1973) insgesamt 46 anamnestisch und neurologisch unauffälligen Patienten doppler-sonographisch eine Lumeneinengung der Karotiden nachgewiesen wurde. Bei 34 lag gleichzeitig eine stenosierende Erkrankung der Koronarien oder Extremitätengefäße vor. Auf die Korrelation von anamnestischen, klinischen und dopplersonographischen Befunden bei Stenosen und Verschlüssen der hirnversorgenden Arterien wird an anderer Stelle eingegangen.

Ein weiteres Beispiel für die Verfeinerung der dopplersonographischen Gefäßdiagnostik durch Untersuchung der Halsarterien ist in Abbildung 5 wiedergegeben. Die Brachialisangiographie ergab bei der 18-jährigen Patientin mit einer schweren, apoplektiform aufgetretenen Hemiparese links, einen Media-Hauptstammverschluß rechts. Der hierdurch erhöhte

Strömungswiderstand kommt nicht in den Doppler-Pulskurven der gleichseitigen A. supratrochlearis zum Ausdruck. Diese ist eher besser durchströmt. Erst die Untersuchungen der A. carotis interna (hochgradige Minderung der systolischen und diastolischen Strömungsgeschwindigkeit) und A. carotis communis (deutliche Minderung der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit) ergeben Hinweise für eine periphere Widerstandserhöhung. Ähnliche Befunde können auch bei Strömungsbehinderungen der A. carotis interna kranial des Abgangs der A. ophthalmica erhoben werden. Anhand derartiger Befunde kann somit die Doppler-Sonographie auch auf das Vorliegen von Stenosen oder Verschlüssen der großen intrakraniellen Hirngefäße hinweisen.

DISKUSSION

Die Ergebnisse zeigen, daß durch die dopplersonographische Untersuchung der hirnversorgenden Arterien am Hals eine erhebliche Verbesserung der diagnostischen Aussagen gegenüber der alleinigen Beschallung der A. supratrochlearis erreicht wird. Erstens kann die Häufigkeit falsch-positiver und falsch-negativer Befunde an der A. supratrochlearis durch Untersuchung der Karotiden deutlich verringert werden. Zweitens ist die Differenzierung zwischen einer Stenose und einem Verschluß möglich. Drittens kann das Strömungshindernis lokalisiert werden. Die Zuverlässigkeit der Dopplerbefunde bei Beschallung der Karotiden ist mit 97% erstaunlich hoch. Dies gilt jedoch nur für die Erfassung von Verschlüssen und Stenosen mit mehr als 50% Lumeneinengung. Für den Nachweis kleinerer Stenosen ist die Methode ungeeignet. Sie wird den in Entwicklung befind-

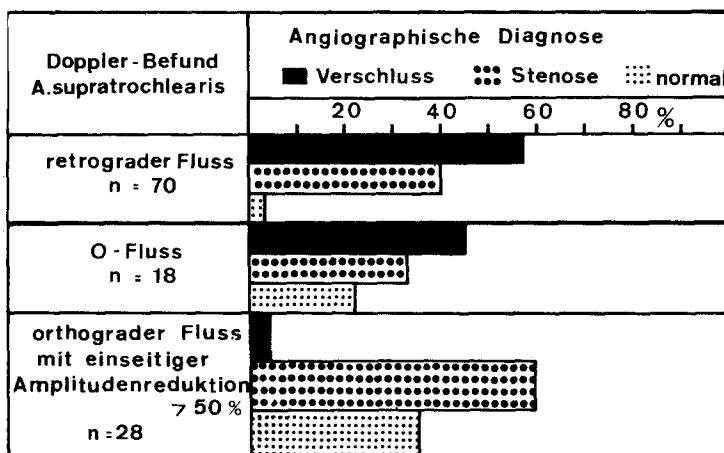


Abb. 6. Zusammenfassende Darstellung der Dopplerbefunde an der A. supratrochlearis und der angiographischen Befunde (1973 - 1976)

lichen, die Arterien direkt abbildenden Ultraschallverfahren (Ultraschall-Angiographie) vorbehalten bleiben.

Daß anhand der verschiedenen pathologischen Dopplerbefunde an der A. supratrochlearis eine Differenzierung zwischen Interna-Verschlüssen und Stenosen nicht möglich ist, wurde bereits durch die in Tabelle 3 dargestellten Ergebnisse erwähnt. Abbildung 6 gibt noch einmal eine Übersicht der in einer früheren Arbeit [1] und in dieser Untersuchung erhobenen pathologischen, angiographisch kontrollierten Befunde an der A. supratrochlearis. Die Abstufung nach Schweregrad der Änderung der Strömung in dieser Kollateralarterie (retrograder Fluß - 0-Fluß - orthograde Fluß stark verminderter Amplitude) erlaubt danach keinen Rückschluß auf den Schweregrad der Strömungsbehinderung (Verschluß - hochgradige - mittelgradige Stenose). Somit ist der von Kriebel & Schurig [9] aus ihrer Abbildung 1 ableitbaren Vorstellung, daß der Dopplerbefund an der A. supratrochlearis klare Hinweise auf den Schweregrad der Stenosierung der A. carotis interna gibt, nicht zuzustimmen. Auch eine retrograde Durchströmung der A. supratrochlearis muß nicht auf eine Strömungsbehinderung im Verlauf der A. carotis interna zwischen Bifurkation und Abgang der A. ophthalmica hinweisen. Wir fanden sie auch bei einem ausgedehnten a. v. -Angiom einer Großhirnhemisphäre. Die pathophysiologische Erklärung für die Strömungsumkehr ist ein "Steal-Effekt" mit Einbeziehung des ipsilateralen Externa-Kreislaufs. Besonders unsicher sind, wie schon frühere Untersuchungen zeigten, Befunde an der A. supratrochlearis mit einseitiger, deutlicher Amplitudenminderung (50-80%) bei orthograde Durchströmung. Hier fand sich in etwa 80% der Fälle bei Beschallung der Karotiden kein Hinweis für eine Strömungsbehinderung (50% Lumeneinengung und mehr), was eine noch geringere Treffsicherheit ergibt als bei Berücksichtigung allein der angiographisch kontrollierten Fälle (Abb. 6).

Wesentliche Bedeutung für die Durchströmung der A. supratrochlearis auf der Seite der Interna-Obstruktion kommt der Funktionsfähigkeit des sehr variabel angelegten [8, 18] Circulus arteriosus Willisii zu. Selbst bei hochgradigen Stenosen oder Verschlüssen der A. carotis interna finden sich gelegentlich normale Strömungsverhältnisse der A. supratrochlearis [1]. Die Beurteilung der kollateralen Versorgung über den Circulus arteriosus Willisii ist mit den von Keller [6] beschriebenen Kompressionsstests der Karotiden möglich. Die Indikation hierzu ist allerdings eng zu stellen, da Zwischenfälle vorkommen [10, 16].

Die Untersuchung allein der A. carotis communis am Hals kann zwar gelegentlich einen pathologischen Befund an der A. supratrochlearis stützen, eine entscheidende Verbesserung der Dopplerdiagnosen ist dadurch jedoch nach unseren Ergebnissen nicht möglich. Verschluß und Stenose können zu der gleichen Minderung der systolischen und diastolischen Strömungsgeschwindigkeit in der A. carotis communis führen. Außerdem sind bei Untersuchung nur eines Halsgefäßes Fehler wegen der sehr variablen Lage der Karotisbifurkation möglich [4, 5].

Unzuverlässigkeit der Erkennung von Karotisstenosen auch mit direkter Beschallung ergeben sich, wenn die Strömungsbehinderung kranial des untersuchbaren Halsabschnittes und kaudal des Abgangs der A. ophthalmica lokalisiert ist. Sie ist nur dann zu diagnostizieren, wenn eine deutliche Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit in der A. carotis communis und A. carotis interna im praestenotischen Abschnitt

nachgewiesen werden kann. Andererseits führen Strömungsbehinderungen kranial des Abgangs der A. ophthalmica ebenfalls zu derartigen Veränderungen (vgl. Abb. 5). Allerdings ist hier nicht mit einer Verminderung der Ophthalmica-Durchströmung zu rechnen. In diesen Fällen ist die Korrelation von Dopplerbefunden an der A. supratrochlearis und den Karotiden besonders wichtig. Nicht immer gelingt eine isolierte Beschallung der A. carotis interna und A. carotis externa an der Bifurkation. Stenosen der Interna können übersehen werden, wenn sie vom Strömungssignal der A. carotis überlagert werden und im poststenotischen Abschnitt keine deutliche Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit nachweisbar ist. Auf die Befunde bei Externastenosen und -verschlüssen, welche zu Verwechslungen mit Prozessen an der A. carotis interna Anlaß geben können, wird an anderer Stelle eingegangen.

Der Zeitaufwand für die dopplersonographischen Untersuchungen der Halsgefäße, ist, auch bei ausreichender Erfahrung, in pathologischen Fällen oft erheblich. Die vollständige Untersuchung aller extra-kranieller Hirngefäße kann bis zu 30 Minuten beanspruchen. Dieser Aufwand wird aber durch folgende Gründe gerechtfertigt: Es gelingt, hochgradig zuverlässige Diagnosen anhand der Dopplerbefunde zu stellen. Bei ausreichender Erfahrung des Untersuchers erscheint es somit vertretbar, daß bei Risikopatienten auf eine nachfolgende angiographische Untersuchung verzichtet und insgesamt die Indikationsstellung zur Angiographie enger gefaßt werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, daß alle hirnversorgenden Arterien auf ihre Durchgängigkeit hin überprüft werden können. Dies gelingt, beliebig oft wiederholbar, in einem Untersuchungsgang.

Bei Berücksichtigung der anatomischen, physiologischen und pathophysiologischen Grundlagen des gestörten Hirnkreislaufs und ausreichender Erfahrung ist die Doppler-Sonographie als zuverlässige und differenzierte Untersuchungsmethode stenosierender Erkrankungen der hirnversorgenden Arterien anzusehen. Sie ist nach angemessener Anleitung und Einarbeitungszeit auch von nichtärztlichen Mitarbeitern zuverlässig durchführbar.

Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereiches Hirnforschung und Sinnesphysiologie (SFB 70) durchgeführt.

Wir danken Frau Teklenborg und Frau Andris für ihre Assistenz bei den Untersuchungen und Auswertungen.

Herrn Prof. V. Schlosser (Gefäßchirurgische Abtlg. der Chirurgischen Universitätsklinik Freiburg) danken wir für die Überweisung von Patienten. Herrn Prof. K. Voigt (Sektion Neuroradiologie der Neurologischen Klinik) und dem Institut für Röntgendiagnostik der Universität (Dir. Prof. W. Wenz) danken wir für die Überlassung und Beurteilung der Angiogramme.

LITERATUR

1. Büdingen, H. J., Hennerici, M., Voigt, K., Kendel, K., Freund, H. -J.: Die Diagnostik von Stenosen oder Verschlüssen der A. carotis interna mit der direktionellen Ultraschall-Doppler-Sonographie der A. supratrochlearis. Dtsch. med. Wschr. 101, 269-275 (1976)

2. Büdingen, H. J., von Reutern, G. -M., Freund, H. -J.: Die Differenzierung der Halsgefäße mit der Doppel-Sonographie. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* (1976)
3. Dorndorf, W., Gänshirt, H.: Die Klinik der arteriellen zerebralen Gefäßverschlüsse, in: Gänshirt, H. (Hrsg.) *Der Hirnkreislauf*, S. 512-629, Stuttgart: Georg Thieme 1972
4. Faller, A.: Zur Kenntnis der Gefäßverhältnisse an der Carotisteilungsstelle. *Schweiz. med. Wschr.* 76, 1156-1158 (1946)
5. Huebner, H. J.: Zum Verlauf der A. carotis interna im Bereich des Halses. *Anat. Anz.* 121, 489-496 (1967)
6. Keller, H., Baumgartner, G., Regli, F.: Carotisstenosen und -okklusionen. Diagnose durch perkutane Ultraschall-Doppler-Sonographie an der A. supraorbitalis und A. supratrochlearis. *Dtsch. med. Wschr.* 98, 1691-1698 (1973)
7. Keller, H., Baumgartner, G.: Doppler-Ultraschallsonographie: eine nicht-belastende Untersuchungsmethode zur Diagnose und Therapiekontrolle von Karotisstenosen. *Schweiz. med. Wschr.* 104, 1281-1291 (1974)
8. Krayenbühl, H., Yasargil, M. G.: *Die zerebrale Angiographie*. Stuttgart: Georg Thieme 1965
9. Kriebel, J., Schurig, E.: Direktionelle Doppler-Sonographie bei Stenosen und Verschlüssen der A. carotis interna. *Med. Welt.* 26, 2202-2204 (1975)
10. Müller, D.: Der Karotisdruckversuch als Provokationsmethode in der klinischen Elektroenzephalographie. Jena: VEB Gustav Fischer 1972
11. Müller, H. R.: Direktionelle Doppler-Sonographie der Arteria frontalis medialis. *EEG/EMG* 2, 24-32 (1971)
12. Müller, H. R.: The diagnosis of internal carotid artery occlusion by directional Doppler sonography of the ophthalmic artery. *Neurology (Minneapolis)* 22, 816-823 (1972)
13. Müller, H. R.: Directional Doppler sonography. A new technique to demonstrate flow reversal in the ophthalmic artery. *Neuroradiology* 5, 91-94 (1973)
14. Müller, H. R., Gonzalez, R. R. Jr.: Evaluation of cranial blood flow with ultrasonic Doppler techniques, in: de Vlieger, M., White, D. N., McCready, V. R. (eds.) *Ultrasonics in Medicine*, pp. 89-96, Amsterdam: Excerpta Medica 1974
15. Pourcelot, L.: Nouveau débitmètre sanguin à effect Doppler, in: *Proceedings of the 1st World Congress on Ultrasonics in Medicine*. Verl. d. Wiener Med. Akademie 125, 1969
16. Prusik, B., Herles, F.: Über die Gefahren des Karotissinusdruckes. *Verhld. Dtsch. Ges. Kreislaufforsch.* 6, 83-87 (1933)
17. v. Reutern, G. -M., Büdingen, H. J., Freund, H. -J.: Dopplersonographische Diagnostik von Stenosen und Verschlüssen der Vertebralarterien und des Subclavian-Steal-Syndroms. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* 222, 209-222 (1976)
18. Zülch, K. J.: Allgemeine Prinzipien bei der Entstehung der Kollateralkreisläufe der Hirnarterien. *Radiologe* 9, 396-406, 1969