

Dopplersonographische Befunde bei intrakraniellen vaskulären Störungen

Differentialdiagnose zu Obliterationen der extrakraniellen Hirnarterien

Gerhard-Michael von Reutern, Karsten Voigt, Erika Ortega-Suhrkamp
und Hans Joachim Büdingen

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

Doppler Findings in Intracranial Vascular Disorders

Differential Diagnosis of Extracranial and Intracranial Vascular Occlusions

Summary. Directional Doppler sonography of the carotid arteries in the neck (selective for the common carotid artery, external and internal carotid arteries) and of the supratrochlear artery permits reliable diagnoses and localizations of extracranial stenoses and occlusions of these arteries. In addition, severe intracranial vascular disorders may also be detected by these methods. Characteristic combinations of Doppler results are described in occlusions of the trunk of the middle cerebral artery, cerebral circulatory breakdown, large arteriovenous angiomas of one hemisphere and carotid-cavernous fistulas, and are compared with angiographic findings.

The knowledge of these Doppler findings is indispensable for the differential critical evaluation of such disorders found at the level of the neck arteries and at the fronto-orbital terminal branches of the ophthalmic artery.

Key words: Doppler sonography – Ultrasound – Carotid arteries – Middle cerebral artery – Arteriovenous angioma – Carotid-cavernous fistula – Cerebral death.

Zusammenfassung. Mit der selektiven direktionellen Dopplersonographie der Halsarterien (A. carotis communis, A. carotis externa, A. carotis interna) und der A. supratrochlearis können außer extrakraniellen Stenosen und Verschlüssen auch schwere *intrakranielle* vaskuläre Störungen erkannt werden: Verschlüsse des Hauptstammes der A. cerebri media, cerebraler Kreislaufstillstand, große arteriovenöse Angiome einer Hemisphäre und Carotis-Cavernosus-Fisteln. Typische Dopplerbefunde dieser intrakraniellen Gefäßsyndrome werden zusammen mit dem angiographischen Befund dargestellt. Die Kenntnis dieser Befunde ist zur kritischen Beurteilung der Untersuchungsergebnisse an den Halsarterien und den fronto-orbitalen Endästen der A. ophthalmica notwendig.

Schlüsselwörter: Dopplersonographie – Ultraschall – Carotiden – A. cerebri media – Arterio-venöses Angiom – Carotis-Cavernosus-Fistel – Hirntod.

Einleitung

Doppler-Befunde bei selektiver Beschallung der Carotiden im Halsbereich und der A. supratrochlearis (Endast der A. ophthalmica) ermöglichen eine zuverlässige und differenzierte Diagnostik von Stenosen und Verschlüssen der A. carotis bis zum Abgang der A. ophthalmica aus dem Carotissiphon [19, 22]. Die Kombination der Befunde an den einzelnen Arterien erlaubt die Lokalisation.

Die direkte dopplersonographische Untersuchung der Hirnarterien in ihrem intrakraniellen Verlauf ist bisher nicht möglich. Doch kann die Dopplersonographie der extrakraniellen Hirnarterien und der A. supratrochlearis durch typische Veränderungen der Doppler-Pulskurven auch Hinweise auf intrakranielle Gefäßprozesse geben. Solche Pulskurvenveränderungen können zu Fehldiagnosen führen, wenn sich die Diagnostik allein auf die Untersuchung der fronto-orbitalen Endäste der A. ophthalmica beschränkt.

Diese Arbeit soll klären, wie durch direkte Beschallung der Carotiden die differentialdiagnostisch wichtige Abgrenzung von vaskulären Störungen kaudal und kranial des Abgangs der A. ophthalmica gelingen kann.

Methodik und Krankengut

Die perkutane Bestimmung der Strömungsrichtung und mittleren Blutströmungsgeschwindigkeit wurde mit dem von Pourcelot [20] entwickelten directionellen Dopplergerät der Firma Delalande (Débitmètre Ultrasonique Directionelle) vorgenommen. Die Doppler-Pulskurven wurden bei konstanter Signalverstärkung mit einem Vierkanal-Direktschreiber (Cardirex, Firma Siemens) aufgezeichnet. Die Dauer der Kompressions- und Funktionstests zur Identifizierung einzelner Halsgefäße [2] konnte durch ein Signal mittels einer Fußtaste auf den Kurven markiert werden. Bei der von uns verwandten Polung des Dopplergerätes ergab eine Strömung gegen die Schallsonde, wie im Normalfall bei Untersuchung der A. supratrochlearis, einen Ausschlag der Pulskurven nach unten. Die Carotiden wurden in Strömungsrichtung beschallt (Ausschlag nach oben).

Untersucht wurden:

1. 2100 Patienten (182 angiographisch kontrolliert) mit anamnestischen oder klinischen Hinweisen für eine stenosierende Erkrankung der Hirnarterien oder Risikofaktoren.

2. 22 Patienten mit Hirntumoren, davon 9 mit erhöhtem Hirndruck,

3. 6 Patienten mit intracerebralem arteriovenösem Angiom,

4. 4 Patienten mit Carotis-Cavernosus-Fistel und

5. 3 Patienten mit cerebralem Kreislaufstillstand.

In allen Fällen wurde beidseits die A. carotis communis, A. carotis interna, A. carotis externa und A. supratrochlearis untersucht, zum Teil zusätzlich die A. vertebralis und A. subclavia beidseits [23].

Die anatomischen, physikalischen und physiologischen Grundlagen der Dopplersonographie und die Untersuchungstechnik wurden früher ausführlich beschrieben [2, 14, 17, 23].

Ergebnisse

Diagnostische Kriterien sind, neben dem Nachweis oder Fehlen eines Gefäßes, die Strömungsrichtung und die Größe der systolischen und diastolischen Strömungsgeschwindigkeit im Seitenvergleich. Eine hämodynamisch wirksame *Erhöhung des Strömungswiderstandes* führt in den vorgeschalteten Gefäßabschnitten zu

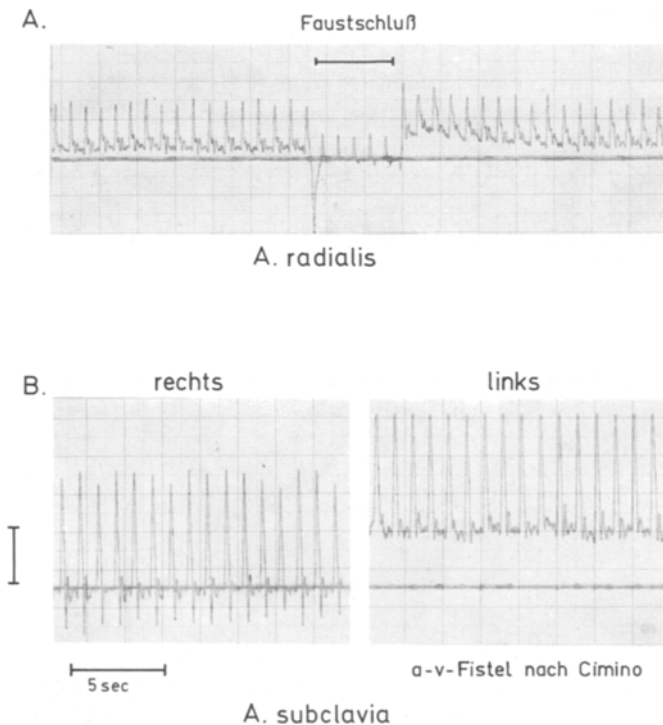


Abb. 1 A und B. Einfluß des peripheren Widerstandes auf die Dopplerpulskurven. **A** Dopplerpulskurven der *A. radialis* eines 32jährigen Gesunden. Faustschluß (Erhöhung des peripheren Strömungswiderstandes) führt initial zu einer kurzen Rückströmung, dann zu deutlich verminderter systolischer und fehlender enddiastolischer Strömungsgeschwindigkeit. **B** Dopplerpulskurven der *A. subclavia* rechts und links eines 56jährigen mit künstlicher a.-v.-Fistel am linken Unterarm für Dialyse bei Niereninsuffizienz. Ordinate: Die Amplitude des Standarddeichsignals (30 cm/sec) ist für alle Kurven gleich. Papiergeschwindigkeit 5 mm/sec. Durchgezogene Linie = Strömungsgeschwindigkeit 0

einer Verminderung der systolischen und diastolischen Strömungsgeschwindigkeit. Dies ist in Abbildung 1 A bei Beschallung der *A. radialis* am Handgelenk und Faustschluß dargestellt. Abbildung 1 B zeigt den Effekt einer *Verminderung des peripheren Strömungswiderstandes* am Beispiel der linken *A. subclavia* bei einem Patienten mit arterio-venösem Shunt am ipsilateralen Unterarm bei dialysepflichtiger Niereninsuffizienz. Es resultiert eine hochgradige Zunahme der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit. Shunt-Kompression führt zur Normalisierung der Pulskurvenprofile (vgl. Abb. 7 in [23]). Entsprechende Veränderungen finden sich auch bei Beschallung der extrakraniellen Hirnarterien unter pathologischen Bedingungen oder bei Kompression von Ästen der *A. carotis externa* und sind diagnostisch verwertbar.

I. Doppler-Befunde bei Erhöhung des intrakraniellen Strömungswiderstandes

Doppler-Befunde bei hämodynamisch wirksamen lokalen Strombahneingengungen im intrakraniellen Verlauf der *A. carotis interna* vor Abgang der *A. oph-*

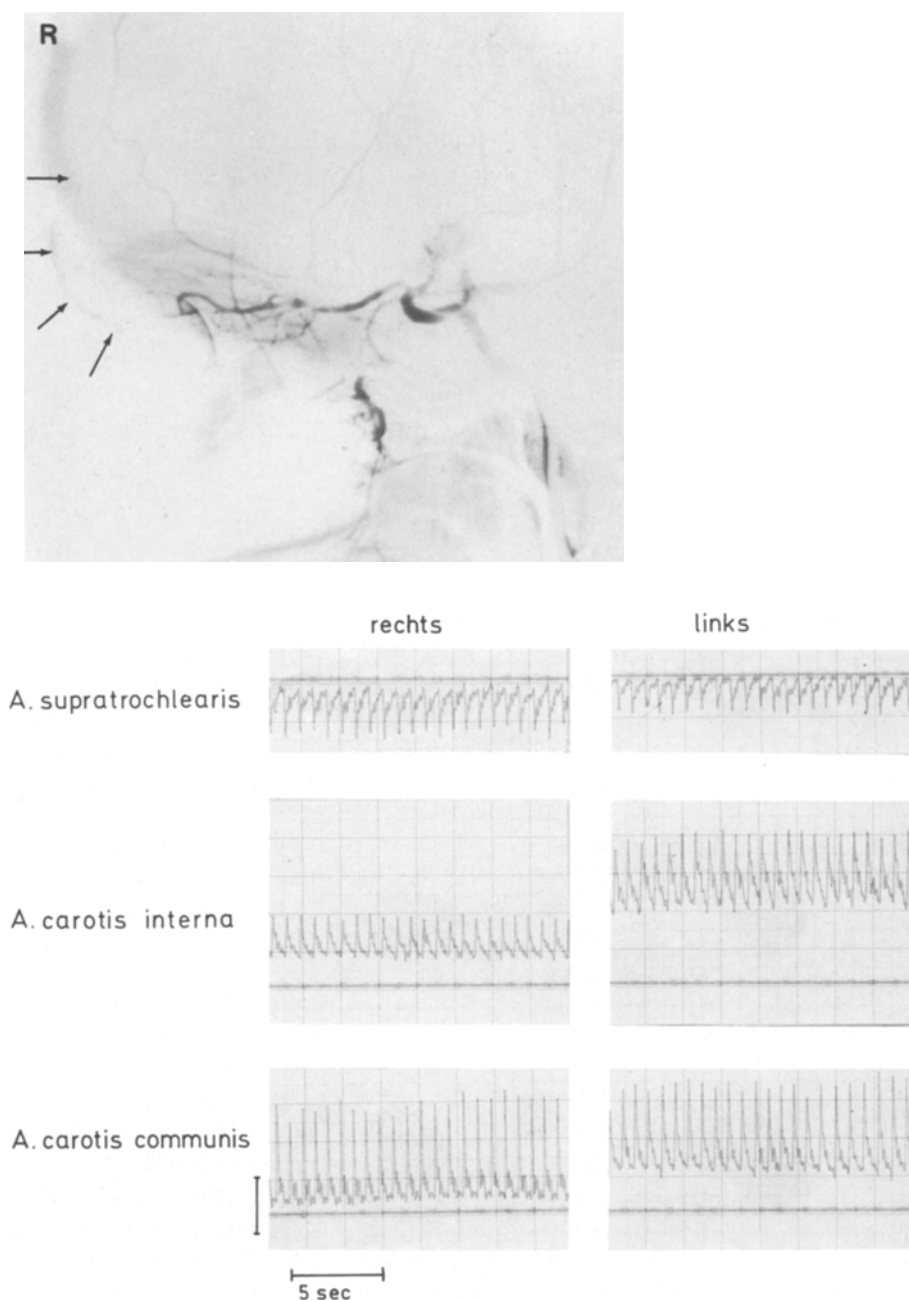


Abb. 2. Cerebrales Angiogramm und Dopplerpulskurven bei supraclinoidalem Carotis-Siphon-verschluß. 24jährige Patientin. Die Angiographie zeigt einen konisch geformten Totalverschuß im Siphonbereich. Kaliberkräftige und weit nach distal (→) gefüllte A. ophthalmica. Intrakraniell lediglich schwache Füllung einiger Stammganglienarterien. Dopplerbefunde: Rechts deutlich verminderte diastolische Amplitude über der A. carotis communis, erheblich verminderte systolische und diastolische Amplitude über der A. carotis interna bei orthogradem Fluß in der A. supratrochlearis. (Pulskurve nach unten bedeutet Strömung auf die Schallsonde zu. Beschallung der orthograd durchströmten A. supratrochlearis ergibt daher einen Kurvenausschlag nach unten. Die Carotiden werden in Strömungsrichtung beschallt, daher Ausschlag nach oben)

thalmica wurden schon früher beschrieben [22]. Dagegen zeigt Abbildung 2 das Angiogramm und die typischen Doppler-Pulskurven an den Carotiden und an der A. supratrochlearis bei einer 24jährigen Patientin mit Verschluß der rechten A. carotis interna nach Abgang der A. ophthalmica (supraclinoidal). Die hierdurch bedingte Erhöhung des Strömungswiderstandes und Minderdurchblutung ergab an den vorgeschalteten Gefäßabschnitten folgende Doppler-Befunde: Hochgradige Reduktion der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit in der ipsilateralen A. carotis communis bei etwa seitengleicher systolischer Strömungsgeschwindigkeit, deutlich verminderte systolische und diastolische Strömungsgeschwindigkeit in der ipsilateralen A. carotis interna (gemessen an mehreren Stellen in ihrem zugänglichen Abschnitt) und orthograde Durchströmung der ipsilateralen A. supratrochlearis mit größerer Strömungsgeschwindigkeit als auf der gesunden Seite. Letzteres wurde bereits von Müller [15] beschrieben.

Die differentialdiagnostische Abgrenzung gegen Stenose oder Verschluß der A. carotis interna intrakraniell vor Abgang der A. ophthalmica gelingt nach dem Befund an der A. supratrochlearis mit dann verminderter orthograde, nicht nachweisbarer oder retrograder Durchströmung.

Die in Abbildung 2 kleinere Amplitude über der linken A. supratrochlearis und hohe Strömungsgeschwindigkeit in der linken A. carotis interna könnten zur Fehldiagnose einer leichten Internastenose führen. Dagegen spricht aber die hohe diastolische Strömungsgeschwindigkeit in der linken A. carotis communis und die an mehreren Stellen im Verlauf der linken A. carotis interna gemessene gleich hohe Strömungsgeschwindigkeit. Im Fall einer Stenose im untersuchbaren extrakraniellen Abschnitt der A. carotis interna findet sich dagegen eine umschriebene Strömungsbeschleunigung [22]. Bei proximaler Stenose der A. carotis communis, worauf die kleinere Amplitude der rechten A. carotis interna hinweisen könnte, wäre auch in der A. carotis communis eine Verminderung besonders der systolischen Strömungsgeschwindigkeit zu finden.

Die in Abbildung 2 dargestellte Befund-Kombination fanden wir bei 19 Patienten, davon wurden 12 angiographiert und folgende Diagnosen gestellt: 4 hochgradige Stenosen und ein Verschluß des aufsteigenden Siphonschenkels, 4 Verschlüsse und eine hochgradige Stenose des Mediahauptstammes, ein Aneurysma an der Mediabifurkation mit Blutung und Spasmus und ein sehr großer avaskulärer temporaler Tumor. Die Differenzierung zwischen Stenose oder Verschluß und lokalisatorische oder artdiagnostische Aussagen sind demnach nicht möglich. Angiographisch sahen wir mehrfach Verschlüsse einzelner Media-äste oder beidseits atherosklerotisch bedingte Stenosen im aufsteigenden Siphonschenkel ohne pathologischen Doppler-Befund. Somit werden nur schwere intrakranielle Strömungsbehinderungen erfaßt, und selbst sie werden wahrscheinlich nicht immer erkannt, wenn sie distal des Circulus arteriosus Willisii mit seinen kollateralen Abflußmöglichkeiten [9] lokalisiert sind.

Mit der Methode der Isotopen-Clearance wurde nachgewiesen, daß die globale Durchblutung der Großhirnhemisphären bei den meisten Hirntumoren, die zu neurologischen Ausfällen führten, deutlich vermindert ist [3]. Da die Strömungsgeschwindigkeit ein Maß der Durchblutung ist, war unsere Frage, ob bei Hirntumoren dopplersonographisch eindeutige Befunde bei Untersuchung der extrakraniellen Hirnarterien erhoben werden können. Bei nur einem (s. oben) von 22

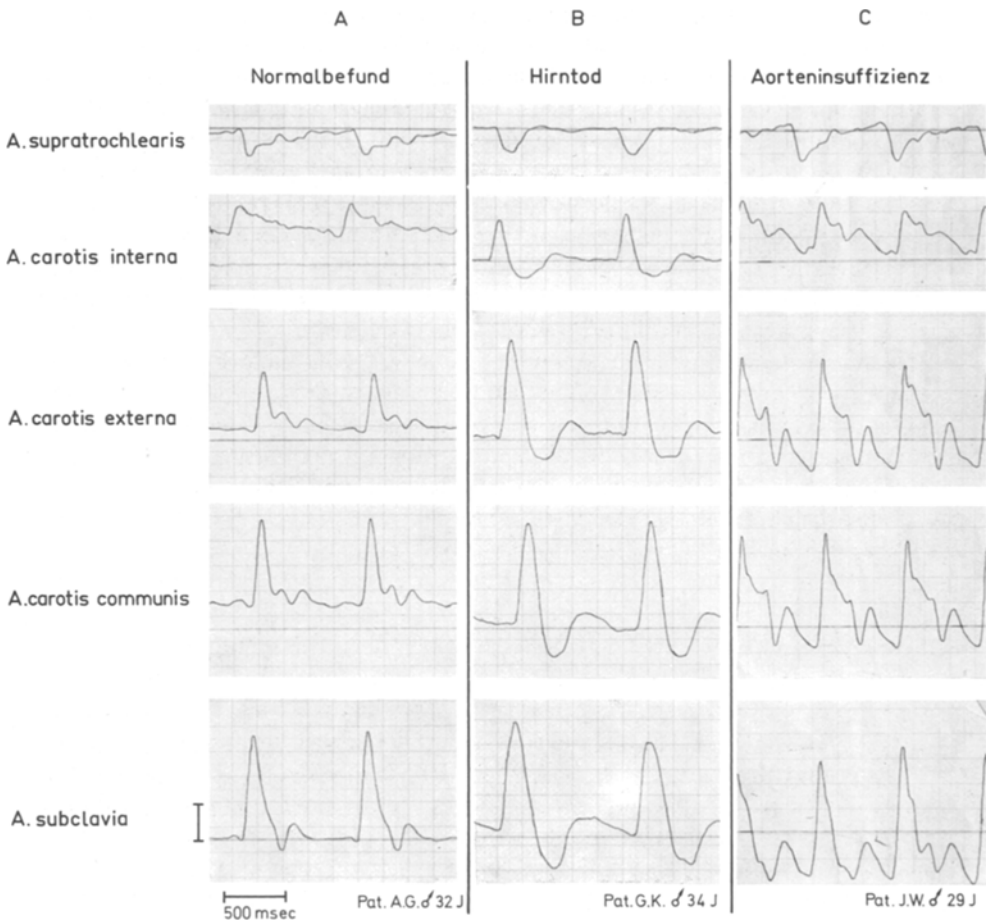


Abb. 3 A—C. Dopplerpulskurven der extrakraniellen Hirnarterien und der A. supratrochlearis eines Gesunden (A), bei posttraumatischem cerebralen Kreislaufstillstand (B) und Aortenklappeninsuffizienz (C). A 32jähriger Gesunder: Normale typisch geformte Pulskurven der extrakraniellen Arterien. B 34jähriger mit „Hirntod“ fünf Tage nach schwerem Schädelhirntrauma mit Bewußtlosigkeit, Reflexverlust, Null-Linien-EEG und angiographisch fehlender intrakranieller Füllung der Aa. carotis interna und vertebralis. C 29jähriger mit schwerer Insuffizienz der Aortenklappen ohne cerebrale Ausfälle. Papiergeschwindigkeit 50 mm/sec

großen Hirntumoren unterschiedlicher Lokalisation konnte eine wesentliche Seitendifferenz der Doppler-Pulskurven nachgewiesen werden. Bei den derzeitigen methodischen Möglichkeiten ist die Dopplersonographie demnach nicht geeignet, eine tumorbedingte Erhöhung des intrakraniellen Strömungswiderstandes zu erkennen oder von anderen Ursachen zu unterscheiden.

Die extreme Erhöhung des intrakraniellen Strömungswiderstandes bei angiographisch nachgewiesenem *cerebralem Kreislaufstillstand* („Hirntod“) führt zu Veränderungen der Doppler-Pulskurven der extrakraniellen Hirnarterien, wie sie in Abbildung 3 B dargestellt sind. Die bisher untersuchten Fälle zeigten die

gleichen, vermutlich pathognomonischen Befunde, die erstmals von Despland und de Crousaz [5] beschrieben wurden: In allen Halsarterien, einschließlich A. vertebralis (hier nicht dargestellt), enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit nahe Null und frühdiastolische Umkehrung der Strömungsrichtung, wie im Normalfall (Abb. 3 A) in der A. subclavia.

Eine herzphasenabhängige Änderung der Strömungsrichtung in der A. carotis communis findet sich auch bei Patienten mit schwerer Aortenklappeninsuffizienz (Abb. 3 C), worauf bereits von Pourcelot [21] hingewiesen wurde. Charakteristisch ist hier der deutliche enddiastolische Rückfluß in Herzrichtung (Kurvenausschlag nach unten).

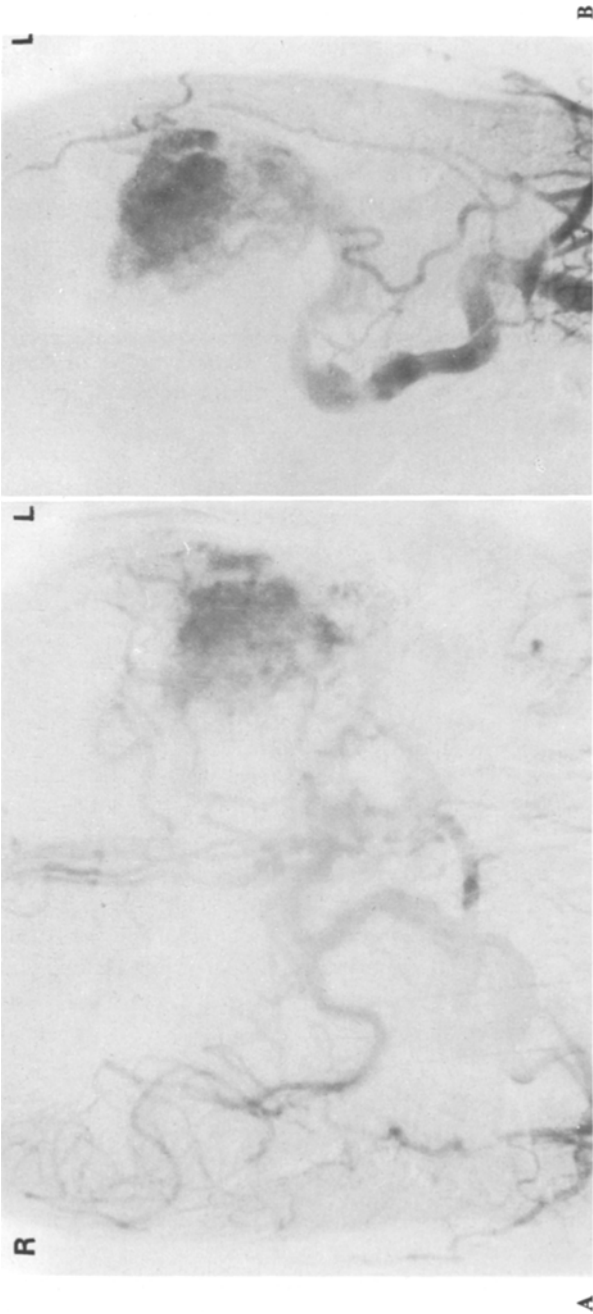
Der Vergleich der Doppler-Pulskurven einzelner Gefäße in Abbildung 3 A—C zeigt, daß die eindeutigsten Veränderungen an der A. carotis interna festzustellen sind, die geringsten und somit diagnostisch nicht verwertbaren an der A. supratrochlearis.

Bei Stenose oder Verschuß extra- oder intrakranieller Hirnarterien und den bisher untersuchten Fällen mit Insuffizienz der Aortenklappen fanden wir bei Beschallung der A. carotis interna nie während der Diastole eine Strömung in Herzrichtung, wie beim cerebralen Kreislaufstillstand.

II. Doppler-Befunde bei Verminderung des intrakraniellen Strömungswiderstandes

Arterio-venöse Angiome. Im methodischen Teil wurde bereits darauf hingewiesen, daß hämodynamisch wirksame Minderungen des Strömungswiderstandes zu einer Erhöhung besonders der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit in den vorgeschalteten Gefäßabschnitten führen. Abbildung 4 zeigt das Angiogramm und die Doppler-Befunde bei einem 50jährigen Patienten mit großem arterio-venösem Angiom der linken Hemisphäre. Dopplersonographisch fand sich beidseits (auf der Angiomseite allerdings deutlicher) eine hohe systolische und vor allem enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit in der Aa. carotis communis und interna. Dieser Befund konnte in allen sechs Fällen mit großen Angiomen erhoben werden, die durch die A. carotis interna bzw. ihre Äste versorgt wurden. Interessant ist, daß bei 3 Fällen die ipsilaterale A. supratrochlearis, wie auch im Beispiel der Abbildung 4, bei orthograde Durchströmung eine deutlich verminderte Strömungsgeschwindigkeit zeigte. In einem Fall fand sich sogar eine retrograde Durchströmung in diesem Gefäß auf der Seite des Angioms ohne angiographisch nachweisbare Stenosierung der A. carotis interna. Die Erklärung hierfür ist eine Verschiebung der Wasserscheide zwischen Interna- und Externakreislauf im Bereich der fronto-orbitalen Endäste der A. ophthalmica nach intrakraniell, wie sie bisher nur bei hochgradigen Stenosen oder Verschlüssen der A. carotis interna vor Abgang der A. ophthalmica bekannt war. Die Verdachtsdiagnose eines intrakraniellen arterio-venösen Kurzschlusses stützte sich hier ausschließlich auf die Befunde an den Carotiden im extrakraniellen Abschnitt.

Die Untersuchung der A. supratrochlearis allein hätte zur Fehldiagnose einer Strömungsbehinderung in der linken Aa. carotis communis oder interna vor Abgang der A. ophthalmica verleitet. Dagegen spricht wiederum (vgl. Abb. 2 und 6) die hohe Strömungsgeschwindigkeit in der ipsilateralen Aa. carotis interna und



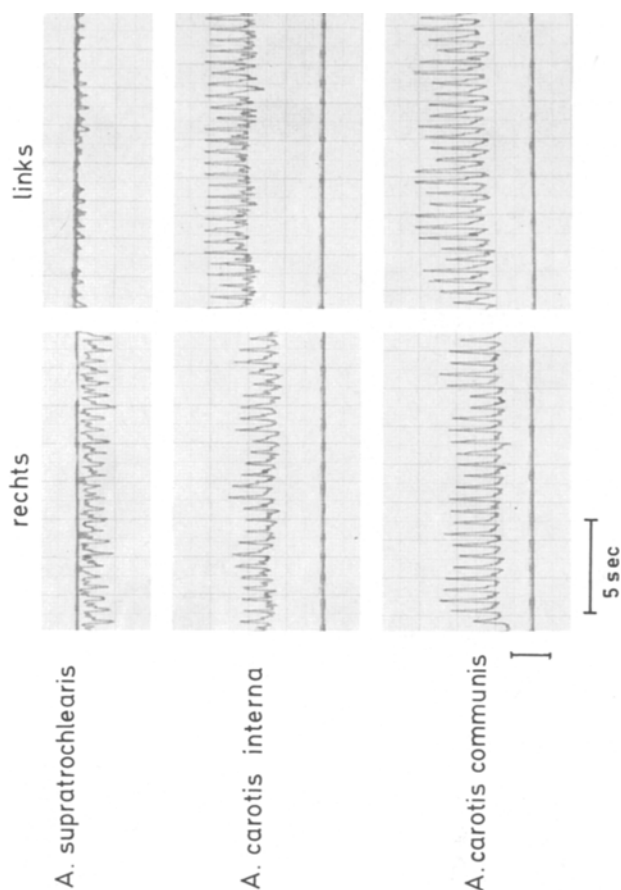
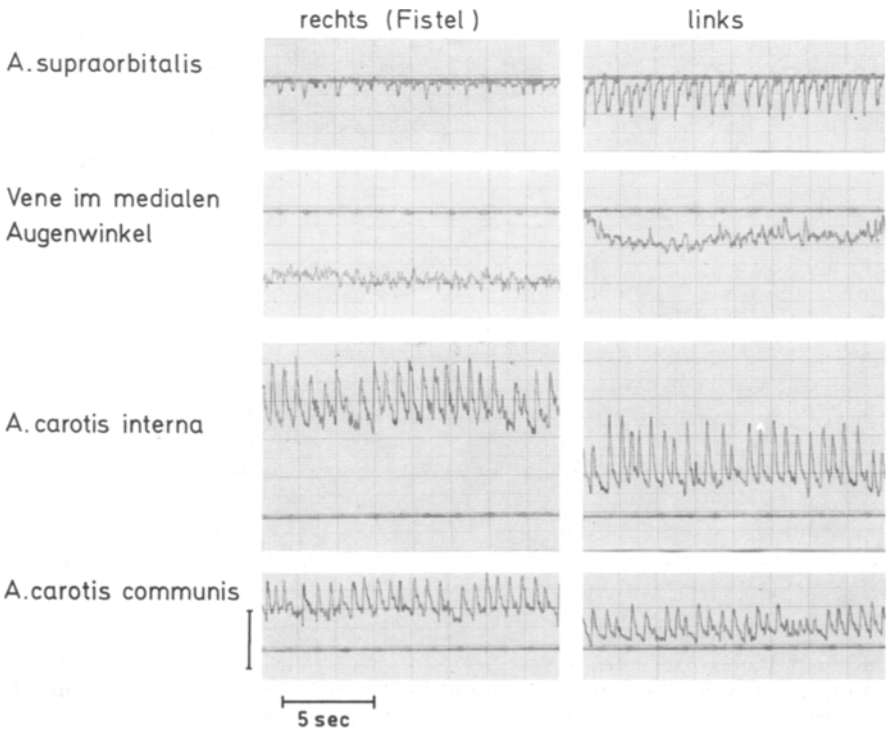
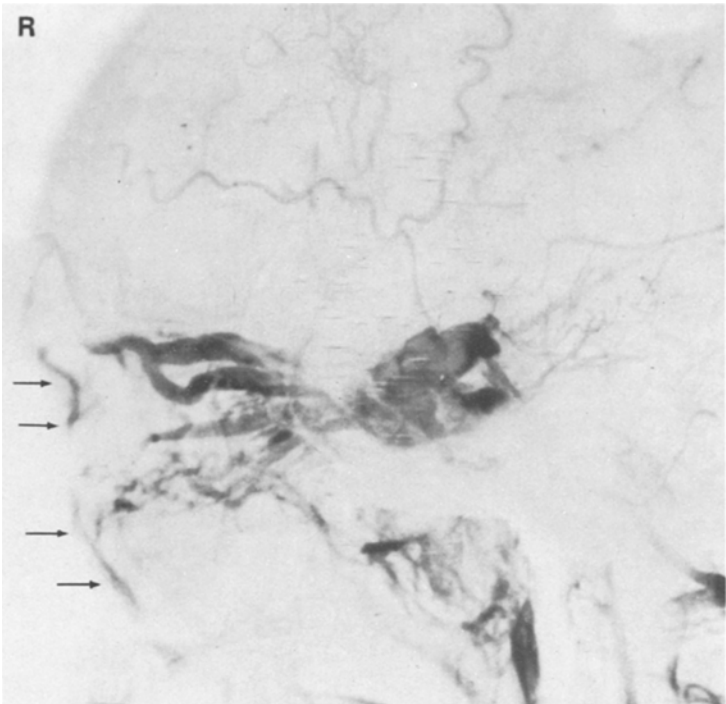


Abb. 4 A und B. Cerebrale Angiogramme und Dopplerpulscurven bei a.-v.-Angiom im Versorgungsgebiet der linken A. cerebri media eines 50-jährigen Patienten. **A** Interhemisphärischer Steal-Effekt mit linksseitiger Angiomefüllung über Anterioräste bei rechtsseitiger Brachialis-angiographie. **B** Direkte Angiomedarstellung über die erweiterte Aa. carotis interna und media links. Dopplerbefunde: Verminderte orthograde Durchströmung der linken A. supratrochlearis, hohe diastolische Strömungsgeschwindigkeit in der linken Aa. carotis communis und interna. Reduzierte Ordinatenskalibrierung wegen Übersteuerung des Schreibgerätes durch die hohen Strömungsgeschwindigkeiten

communis im gesamten untersuchbaren Verlauf. Daß zum Teil keine wesentlichen Seitendifferenzen der Strömungsgeschwindigkeiten in den Carotiden nachweisbar waren, läßt sich aus der Mitversorgung des Angioms von der Gegenseite (interhemisphärischer Steal [6,25]) erklären (Abb.4). Wahrscheinlich führen nur arteriovenöse Angiome mit sehr großem Shuntvolumen zu eindeutigen Befunden.

Carotis-Cavernosus-Fistel. Abbildung 5 zeigt das Angiogramm und die Doppler-Befunde bei einem 75-jährigen Patienten mit traumatischer Carotis-Cavernosus-Fistel rechts. Bei Beschallung des medialen Augenwinkels fand sich auf der Seite der Fistel ein hochfrequentes, aber wenig amplitudenmoduliertes Strömungssignal, welches durch die arterialisierte venöse Strömung (Drainage der Fistel über Orbitavenen) erklärt wird und auskultatorisch als „Maschinengeräusch“ imponierte. Das Strömungssignal der A. supratrochlearis war hierdurch völlig überdeckt. In Abbildung 5 ist daher die Pulscurve der A. supraorbitalis dargestellt. In diesem Fall war beidseits eine pathologische venöse Drainage mit Strömungs-



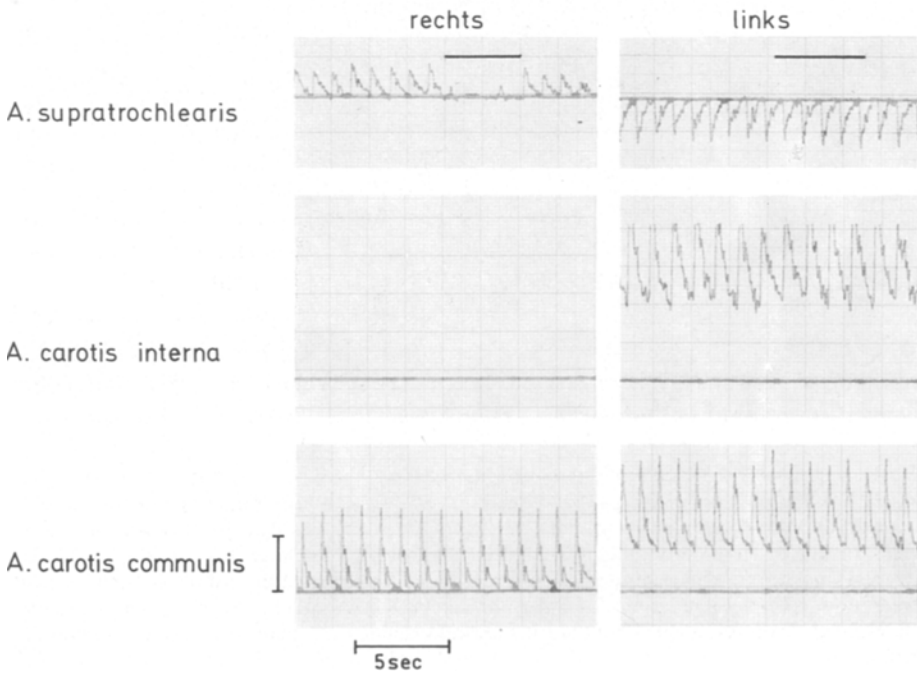
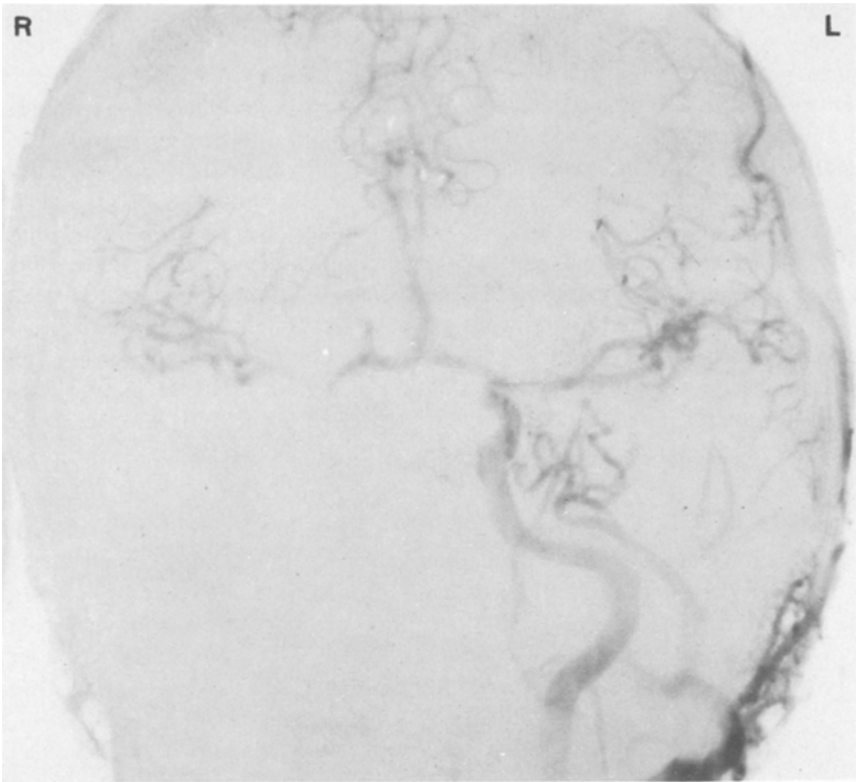
umkehr in den orbitalen Venen nachweisbar (Abfluß über die Sinus intercavernosi auch zur Gegenseite). Hier kann nach den Doppler-Befunden an der Aa. carotis communis und interna die Seite der Fistel (rechts) bestimmt werden. In diesen Gefäßen findet sich als Ausdruck der Verminderung des peripheren Strömungswiderstandes durch den arterio-venösen Kurzschluß eine deutlich erhöhte diastolische Strömungsgeschwindigkeit (vgl. Abb. 1 B). Auch über den Carotiden der Gegenseite konnte in anderen Fällen eine hohe Strömungsgeschwindigkeit registriert werden, entweder kompensatorisch (s. unten) oder wenn die Fistel über den Circulus arteriosus Willisii von der Gegenseite mitversorgt wurde. In allen bisher untersuchten vier Fällen konnte nach der beschriebenen Seitendifferenz an den Carotiden die Seite der Fistel richtig vorausgesagt werden. Wenn auch die Diagnose einer Carotis-Cavernosus-Fistel nach dem klinischen Befund leicht möglich ist, läßt sich mit der Dopplersonographie der Verlauf und Erfolg von therapeutischen Eingriffen, speziell des Fistelverschlusses durch einen Ballon-Katheter (Büdinger et al., in Vorbereitung), kontrollieren.

Kompensatorische Erhöhung der Durchblutung bzw. Blutströmungsgeschwindigkeit bei intrakraniellem Kollateralfuß. Bei der Besprechung von arterio-venösen Angiomen wurde bereits ein interhemisphärischer Steal erwähnt, bedingt durch die Minderung des Strömungswiderstandes auf der Seite des arterio-venösen Kurzschlusses [24]. Dies kann den Befund einer beidseits ungewöhnlich hohen Strömungsgeschwindigkeit in den Carotiden erklären. Eine andere Ursache einer interhemisphärischen Kollateralversorgung über den Circulus arteriosus Willisii liegt bei Verschluß oder hochgradiger Stenose einer hirnversorgenden Arterie vor. Der von der nicht betroffenen Seite zu versorgende Gesamtgefäßquerschnitt nimmt zu und hierdurch der periphere Strömungswiderstand ab. Dopplersonographisch ist daher z. B. bei einseitigem Abgangverschluß der A. carotis interna eine kompensatorisch erhöhte Strömungsgeschwindigkeit in allen Abschnitten der kontralateralen Aa. carotis communis und interna zu erwarten. Dies zeigt Abbildung 6 bei einer 40jährigen Patientin mit Verschluß der A. carotis interna an der Bifurkation rechts. In anderen Fällen mit beidseitigen Carotisstenosen fanden wir ungewöhnlich hohe Strömungsgeschwindigkeiten in den Vertebralarterien.

Diskussion

Die direktionelle Dopplersonographie der extrakraniellen Hirnarterien leistet zur Zeit noch wenig für die Diagnostik intrakranieller Gefäßläsionen, kann aber schon einige Hinweise auf pathologische Veränderungen der Hirngefäße bringen.

Abb. 5. Cerebrales Angiogramm und Dopplerpulskurven bei rechtsseitiger Carotis-Cavernosus-Fistel. 75jähriger Patient mit pulsierendem Exophthalmus und Augenmuskelparesen rechts. Stromumkehr in den Vv. ophthalmicae und Abfluß über die homolaterale V. facialis (→). Auch Strömungsumkehr in den kontralateralen Augenvenen. Dopplerbefunde: Pathologische venöse Strömung im Bereich beider medialer Augenwinkel (rechts deutlicher als links) und deutliche Erhöhung der diastolischen Strömungsgeschwindigkeiten der rechten Aa. carotis communis und interna



Folgende Gründe begrenzen die intrakranielle Dopplerdiagnostik:

1. Die direkte dopplersonographische Untersuchung der intrakraniellen Arterien durch den knöchernen Schädel ist noch nicht möglich.
2. Perkutane Beschallung mit herkömmlichen Geräten kann weder das Durchflußvolumen noch die absolute Strömungsgeschwindigkeit in den extrakraniellen Hirnarterien exakt messen.
3. Adaptative Änderungen des Gefäßdurchmessers im vorgeschalteten extrakraniellen Gefäßabschnitt, z. B. bei arterio-venösem Angiom [4], können nicht bestimmt werden, die gemessene Strömungsgeschwindigkeit aber wesentlich beeinflussen.
4. Die Verteilerfunktion des Circulus arteriosus Willisii kann zu erwartende Seitendifferenzen der Strömungsgeschwindigkeit in den vorgeschalteten Gefäßen ausgleichen.

Im Gegensatz zu anderen Autoren [8, 10, 13, 16] fanden wir in Übereinstimmung mit Planiol und Pourcelot [18, 19], daß die direkte Doppleruntersuchung und Unterscheidung der Aa. carotis interna und externa auch in pathologischen Fällen gelingt.

Dies wurde für die vor dem Abgang der A. ophthalmica gelegenen Strömungshindernisse in früheren Arbeiten beschrieben [2, 22]. Die hier vorgelegten und auf der gleichen Grundlage erhaltenen Ergebnisse zeigen, daß auch schwere *intrakranielle* Gefäßstörungen erkannt werden können. Voraussetzungen hierfür sind:

1. Systematische Untersuchung der fronto-orbitalen Endäste der A. ophthalmica, Aa. carotis communis und interna und somit Erfassung typischer Kombinationen der an diesen Arterien erhobenen Befunde.
2. Unterscheidung einer allgemeinen Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit bei Verminderung des Strömungswiderstandes (vgl. Abb. 6) von umschriebenen, stenosebedingten Erhöhungen durch Untersuchung der Carotiden im gesamten zugänglichen Abschnitt mit kontinuierlicher Sondenverschiebung.
3. Unterscheidung einer kaudal oder kranial des untersuchten Halsabschnittes gelegenen Strömungsbehinderung mit unterschiedlicher Einwirkung auf die diastolische und systolische Strömungsgeschwindigkeit.

Die alleinige Untersuchung der Aa. supratrochlearis und -orbitalis gibt nur indirekte Hinweise auf die Diagnose einer extrakraniellen hochgradigen Stenose oder eines Verschlusses, ohne diese differenzieren oder lokalisieren zu können. Die Anzahl falsch-negativer und falsch-positiver Befunde ist erheblich.

Nach unserer Erfahrung ist hiermit besonders über die Ein- oder Beidseitigkeit eines extrakraniellen Verschlußprozesses der Carotiden keine Aussage möglich. Die Untersuchungsergebnisse der A. supratrochlearis auf der Gegenseite eines

Abb. 6. Carotisangiogramm links und Dopplerpulskurven bei vollständigem Verschluß der A. carotis interna rechts. 40jährige Patientin. Das Angiogramm zeigt den interhemisphärischen Kollateralfuß über den Ramus communicans anterior von links nach rechts und somit Versorgung beider Hemisphären durch die linke A. carotis interna. Dopplerbefunde: Kompensatorisch erhöhte Strömungsgeschwindigkeit in der Aa. carotis communis und interna der Gegenseite (links); retrograde Durchströmung der A. supratrochlearis rechts über die A. temporalis superficialis, deren Kompression (Balken über den Pulskurven) zum Sistieren der Strömung führt

Interna-Verschlusses lassen oft eine zusätzliche Stenosierung der homolateralen A. carotis interna vermuten, welche sich dann bei direkter dopplersonographischer Untersuchung der Carotiden und angiographisch nicht findet. Als Ursache dieser Unsicherheit nehmen wir Veränderungen des intrakraniellen Strömungswiderstandes an, die zu einer Verschiebung der Wasserscheide auch im Bereich der Ophthalmicakollateralen auf der Gegenseite einer extrakraniellen Gefäßläsion führen können, bedingt durch die funktionelle Beziehung des Circulus arteriosus Willisii und der A. ophthalmica. In dieser Arbeit wurden weitere Bedingungen besprochen (z. B. retrograde und verminderte orthograde Durchströmung der A. supratrochlearis bei großem arterio-venösem Angiom der gleichseitigen Hemisphäre), die zu Fehldiagnosen geführt hätten.

Durch die Untersuchung der A. carotis communis und ihre Kompression können zwar zusätzliche Hinweise insbesondere auf die Funktionsfähigkeit des Circulus arteriosus Willisii erhalten werden, differenzierte Diagnosen oder die Lokalisation von Strömungshindernissen sind hierdurch aber nicht sicher genug möglich.

Pourcelot [21] beschrieb schon Kriterien zur Unterscheidung von Verschlüssen der A. carotis interna kranial und kaudal des Ophthalmicaabgangs unter Berücksichtigung der Ergebnisse bei direkter Untersuchung dieser Arterie selbst. Auch wir halten die sichere Differenzierung von extra- und intrakraniellen Strömungshindernissen für möglich, wenn letztere ausgeprägt genug sind. Wir stellten die Diagnose einer intrakraniellen Strömungsbehinderung kranial des Ophthalmicaabgangs in etwa 10% der pathologischen Carotisbefunde, also nicht so selten.

Die Erhöhung des intrakraniellen Strömungswiderstandes bei cerebralem Kreislaufstillstand mit Decerebrierungssymptomen bedingt nach unserer Erfahrung, wie auch von Despland und Crousatz mitgeteilt [5], Änderungen der Dopplerpulscurven, die wir bisher bei keiner anderen Störung fanden. Die Dopplersonographie erleichtert daher wahrscheinlich die frühzeitige Erkennung des „Hirntodes“. Dies muß allerdings noch an einem größeren Krankengut bestätigt werden.

Patienten mit Carotis-Cavernosus-Fistel zeigten alle, wie schon früher beschrieben [12], eine pathologische venöse Drainage über orbitale Venen. Die Dopplersonographie der Halsarterien stützt die Diagnose einer arterio-venösen Fistel (Abb. 5) und kann zur Verlaufskontrolle bei therapeutischen Eingriffen verwendet werden.

Unsere Erfahrungen mit der systematischen Untersuchung aller extrakranieller Hirnarterien, besonders der selektiven Beschallung der A. carotis interna zeigen, daß bei ausreichender methodischer Erfahrung ohne großen Zeitaufwand (unter 20 Minuten) die Erkennung, Differenzierung und Lokalisation extrakranieller Stenosen und Verschlüsse sehr zuverlässig ist. Wie in der vorliegenden Arbeit dargelegt, ist zur kritischen Interpretation der Doppler-Pulscurven der Carotiden die Kenntnis der Befunde bei pathologischer Erhöhung oder Verminderung des intrakraniellen Strömungswiderstandes notwendig.

Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereiches „Hirnforschung und Sinnesphysiologie“ (SFB 70) durchgeführt. Für die technische Hilfe danken wir Frau Andris.

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., Reutern, G.-M. von, Freund, H.-J.: Die Differenzierung der Halsgefäße mit der Doppler-Sonographie. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **222**, 177—190 (1976)
3. Cronquist, S., Agee, F.: Regional cerebral blood flow in intracranial tumors. *Acta Radiol.* **7**, 393—399 (1968)
4. Cushing, H., Bailey, P.: Tumors arising from the bloodvessels of the brain, p. 219. Springfield (Illinois): Ch. C. Thomas 1928
5. Despland, P. A., de Crousaz, G.: L'apport de l'ultrasonographie Doppler au diagnostic de la mort cerebrale. *Schweiz. med. Wschr.* **104**, 1454—1459 (1974)
6. Van der Drift, J. H. A.: Intracerebral steal in cerebrovascular occlusion. In: J. S. Meyer, H. Lechner, M. Reivich (eds.), *Cerebral Vascular disease*, pp. 156—165. Stuttgart: Georg Thieme 1976
7. Keller, H., Baumgartner, G.: Doppler-Ultraschallsonographie: Eine nicht-belastende Untersuchungsmethode zur Diagnose und Therapiekontrolle von Karotis-Stenosen. *Schweiz. med. Wschr.* **104**, 1281—1291 (1974)
8. Keller, H., Meier, W., Yonekawa, Y., Kumpe, O.: Noninvasive angiography for the diagnosis of carotid artery disease using Doppler ultrasound (carotid artery Doppler). *Stroke* **7**, 354—363 (1976)
9. Krayenbühl, H., Yasargil, M. G.: Die zerebrale Angiographie. Stuttgart: Georg Thieme 1965
10. Kriebel, J., Schurig, E.: Direktionelle Doppler-Sonographie bei Stenosen und Verschlüssen der A. carotis interna. *Med. Welt* **26**, 2202—2204 (1975)
11. LoGerfo, F. W., Mason, G. R.: Directional Doppler studies of supraorbital artery flow in internal carotid stenosis and occlusion. *Surgery* **76**, 723—728 (1974)
12. Matjasko, M. J., Williams, J. P., Fontanilla, M.: Intraoperative use of Doppler to detect successful obliteration of carotid-cavernous fistulas. *J. Neurosurg.* **43**, 634—636 (1975)
13. Mol, J. M. F., Frederix, L., Rijcken, W. J.: Doppler-Haematotachografisch Onderzoek bij Cerebrale Circulatiestoornissen. Maastricht: Pécasse-Eurozet 1973
14. Müller, H. R.: Direktionelle Doppler-Sonographie der Arteria frontalis medialis. *EEG/EMG* **2**, 24—32 (1971)
15. Müller, H. R.: Doppler-Sonographie der Carotis-Strombahn. *Internist* **17**, 570—579 (1976)
16. Müller, H. R., Gonzalez, R. R., Jr.: Evaluation of cranial blood flow with ultrasonic Doppler techniques. In: M. de Vlieger, D. N. White, V. R. McCready (eds.), *Ultrasonics in Medicine*, pp. 89—96. Amsterdam: Excerpta Medica 1974
17. Planiol, Th., Pourcelot, L.: Etude de la circulation carotidienne au moyen de l'effet Doppler. In: *Traité de Radiodiagnostic*, Vol. XVII. Paris: Masson 1971
18. Planiol, Th., Pourcelot, L.: Etude des troubles de la circulation cérébrale par effet Doppler. Communication à la Société Suisse d'Angéologie, Genève 1972
19. Planiol, Th., Pourcelot, L.: Doppler effect study of the carotid circulation. In: M. de Vlieger, D. N. White, V. R. McCready (eds.), *Ultrasonics in Medicine*, pp. 104—111. Amsterdam: Excerpta Medica 1974
20. Pourcelot, L.: Nouveau débitmètre sanguin à effet Doppler. In: *Proceedings of the 1st World Congress on Ultrasonics in Medicine*, pp. 125—130. Wien: Verlag der Wiener Medizinischen Akademie 1969
21. Pourcelot, L.: Indications de l'ultrasonographie Doppler dans l'étude des vaisseaux périphériques. *L'Année du Praticien* **25**, 4671—4680 (1975)
22. Reutern, G.-M. von, Büdingen, H. J., Hennerici, M., Freund, H.-J.: Diagnose und Differenzierung von Stenosen und Verschlüssen der Arteria carotis mit der Doppler-Sonographie. *Arch. Psychiat. Nervenkr.* **222**, 191—207 (1976)
23. Reutern, G.-M. von, 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)

24. Shenkin, H. A., Spitz, E. B., Kety, S. S.: Physiological studies of arteriovenous anomalies of the brain. *J. Neurosurg.* **5**, 165—171 (1948)
25. Voigt, K.: Klinik und Pathologie zerebraler Gefäßmißbildungen. *Fortschr. Neurol. Psychiat.* **42**, 543—554 (1974)

Eingegangen am 5. Dezember 1976