

# Die Doppler-Sonographie bei intracranialen Zirkulationsstörungen der A. carotis interna

## Eine Doppler-sonographisch-angiographische Vergleichsuntersuchung

Stefan Biedert, Ralph Winter, Heribert Betz und Roland Reuther

Neurologische Universitätsklinik (Direktor: Prof. Dr. Heinz Gänshirt)  
Voßstrasse 2, D-6900 Heidelberg, Bundesrepublik Deutschland

### Doppler Sonography in Intracranial Carotid Artery Disease

**Summary.** During the past 33 months we have investigated 6,587 patients using directional continuous-wave Doppler sonography of the carotid arteries. On the basis of 1,671 retrograde brachial and direct carotid angiograms we have developed criteria for demonstrating a significant increase in the peripheral resistance of the internal carotid artery. We distinguished stenoses proximal (15 cases) and distal (4) to the origin of the ophthalmic artery, supraclinoid internal carotid artery occlusions (8), stenoses (2) and obliterations (10) of the middle cerebral artery that developed suddenly. Stenoses in the carotid siphon (proximal or distal to the origin of the ophthalmic artery) showed a reduction of more than 40% in the relative end-diastolic flow velocity (modified Pourcelot's index); in addition, stenoses proximal to the origin of the ophthalmic artery exhibited an alternating flow, or flow reversal, in the suprartochlear artery to a variable extent. Stenoses distal to the origin of the ophthalmic artery only rarely revealed the increase in orthograde flow velocity that had been theoretically expected in the suprartochlear artery. Stenoses of the middle cerebral artery exceeding the extent of atherosclerotic irregularities proved to be an exception. Supraclinoid obliterations of the internal carotid artery were reliably demonstrated by Doppler sonography. However, the majority of the occlusions of the middle cerebral artery that developed suddenly could not be detected by this means, probably due to anastomoses between the anterior and middle cerebral arteries, which were detected by means of angiography. Thus, we believe that continuous-wave Doppler sonography is a reliable tool for detecting stenoses of the carotid siphon of more than 60% reduction in lumen diameter as well as supraclinoid carotid artery occlusions. Resistance to the cerebral blood flow that is located more peripherally cannot be diagnosed reliably by this method.

**Key words:** Doppler sonography – Stenosis of the carotid siphon – Obliteration of the middle cerebral artery

**Zusammenfassung.** Wir haben 6587 Patienten innerhalb der letzten 33 Monate mit der direktionellen Doppler-Sonographie der Carotiden untersucht und auf der Grundlage von 1671 retrograden Brachialis- bzw. perkutanen Carotisarterio-

graphien sonographische Kriterien für den Nachweis einer wesentlichen Widerstandserhöhung im peripheren Gefäßbett der A. carotis interna entwickelt. Nach der Lokalisation unterscheiden wir Stenosen vor dem Abgang der A. ophthalmica (15 Fälle) bzw. nach Abgang der A. ophthalmica (4), supraclinoidale Internaverschlüsse (8), Mediastenosen (2) und Mediaverschlüsse (10). Siphonstenosen (vor oder nach Abgang der A. ophthalmica) von mehr als 60% (angiographisch) zeigten stets eine über 40%ige Reduktion der relativen enddiastolischen Strömungsgeschwindigkeit (modifizierter Index nach Pourcelot), die Stenosen vor Abgang der A. ophthalmica zusätzlich Veränderungen an der A. suprartochlearis in variablem Ausmaß in Form eines Nullflusses, eines alternierenden Flusses oder einer Strömungsumkehr. Bei Stenosen und Verschlüssen distal des Ophthalmicaabgangs fand sich nur selten der theoretisch erwartete erhöhte orthograde Fluß in der A. suprartochlearis. Mediastenosen, die über das Ausmaß arteriosklerotischer Wandunregelmäßigkeiten hinausgingen, waren in dem von uns untersuchten Krankengut eine Seltenheit. Die supraclinoidalen Internaverschlüsse wurden Doppler-sonographisch zuverlässig erkannt, während akut aufgetretene Mediaverschlüsse in der überwiegenden Zahl der Fälle nicht mittels Doppler-sonographischer Kriterien erfaßt werden konnten, wahrscheinlich aufgrund der angiographisch nachweisbaren Kollateralenbildung zwischen den Aa. cerebri ant. und media. Wir sind zu dem Ergebnis gekommen, daß die Doppler-Sonographie als sensitive Methode zur nichtinvasiven Diagnose von Siphonstenosen über 60% sowie der supraclinoidalen Internaobliterationen eingesetzt werden kann, während weiter peripher gelegene Strömungshindernisse in der Mehrzahl der Fälle mittels dieser Methode nicht nachgewiesen werden können.

**Schlüsselwörter:** Doppler-Sonographie – Siphonstenosen – Internaverschlüsse

### Einleitung

Die direktionelle Doppler-Sonographie der extracranialen Abschnitte der Carotiden ist mittlerweile als Standardmethode etabliert [2, 6]. Auch auf die Doppler-sonographischen Befunde bei intracranialen vaskulären Störungen ist schon frühzeitig hingewiesen worden [7]. Wir haben in der vorliegenden Studie untersucht, zu welchen Veränderungen des extra-

cranischen Doppler-Sonogramms Stenosen und Verschlüsse der distalen A. carotis interna und ihrer großen Äste führen.

## Patienten und Methoden

Die vorliegende Arbeit umfaßt retrospektiv die Ergebnisse von 6587 Doppler-Sonographien, die innerhalb der letzten 33 Monate in unserer Klinik angefertigt wurden. Die Indikation für die sonographische Untersuchung beinhaltete das Vorliegen typischer Symptome oder bekannter Risikofaktoren für eine Arteriosklerose der hirnversorgenden Arterien, schloß aber auch Fälle mit unspezifischen Symptomen einer cerebralen Ischämie ein.

Die an der Neurologischen Universitätsklinik mit Neurophysiologie in Freiburg von der Arbeitsgruppe um Büdingen, von Reutern und Freund [2, 6] ausgearbeitete Doppler-Sonographie der Carotiden wurde von unserer Klinik in den wesentlichen Punkten übernommen.

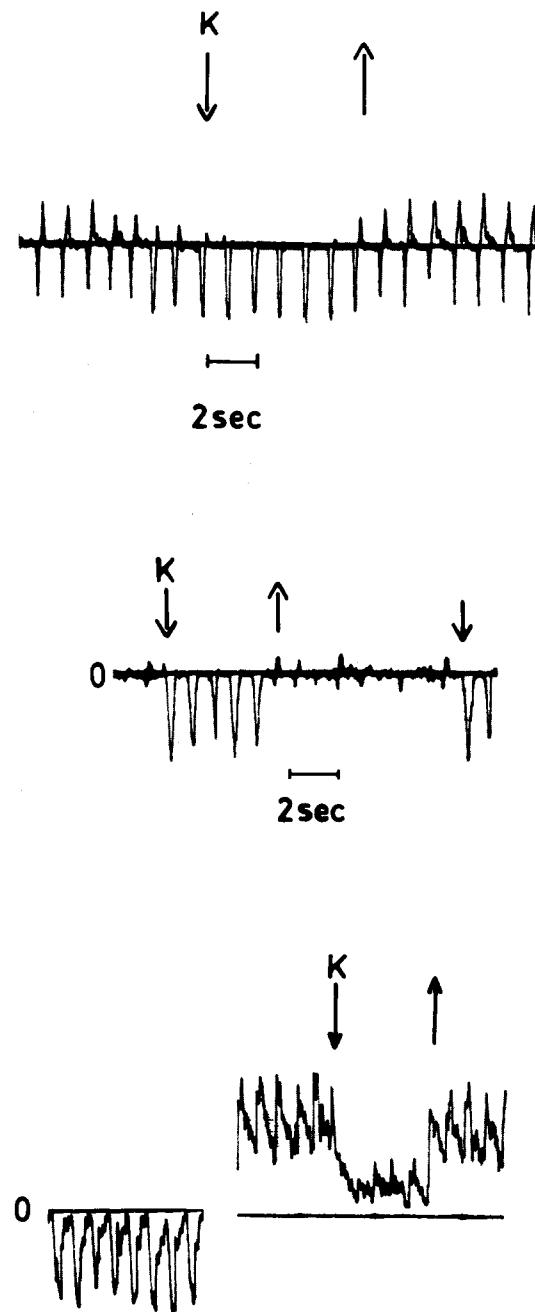
Unter Verwendung eines Doppler-Sonographen nach dem Prinzip Delalande (4 MHz) und eines EKG-Schreibers Kardirex 3T (Siemens) als Registriereinheit wurden die Flussgeschwindigkeiten der A. carotis communis am Halsansatz und der A. carotis interna am Kieferwinkel registriert. Der gesamte Verlauf der A. carotis communis bzw. interna einer jeden Seite wurde akustisch beurteilt. Die enddiastolische und die maximale systolische Strömungsgeschwindigkeit wurden aus zumindest 5 konsekutiven Pulskurven gemittelt. Die A. supratrochlearis wurde wie von Müller [3] beschrieben am medialen Augenwinkel aufgezeichnet.

Der periphere Widerstand des untersuchten Gefäßbettes wurde analog dem von Pourcelot [5] beschriebenen Prinzip bestimmt. Während jedoch Pourcelot den Widerstand aus dem Verhältnis der Pulsamplitude zur maximalen Strömungsgeschwindigkeit in der A. carotis communis berechnete und unter seinen Ableitebedingungen bei Gesunden Werte von 0,55 bis 0,75 fand, benutzten wir als modifizierten Index das Verhältnis der enddiastolischen zur maximalen Strömungsgeschwindigkeit, nehmen also entsprechend einen Normbereich von 0,25 bis 0,45 an. Wir ziehen die Bestimmung der relativen enddiastolischen Strömungsgeschwindigkeit (im folgenden als modifizierter Pourcelot-Index bezeichnet) vor, da die Anwendung dieses mathematischen Parameters zu pruzentual größeren und damit eindeutigeren Seitendifferenzen führt als das ursprünglich von Pourcelot beschriebene Prinzip. Wir haben den modifizierten Pourcelot-Index sowohl für die A. carotis communis als auch die A. carotis interna im Seitenvergleich errechnet.

Als Fehlerquelle muß bei dem von uns verwendeten Gerät die summarische Aufzeichnung verschiedener Strömungsrichtungen (von der Sonde weg und auf die Sonde zu) berücksichtigt werden. Wird der venöse, nach kaudal gerichtete Blutfluß mangelhaft unterdrückt, so werden alle arteriellen Strömungsgeschwindigkeiten zu niedrig gemessen und damit auch der Widerstandsindex zu niedrig berechnet. Nach unserer Erfahrung ist jedoch die Überlagerung des arteriellen durch einen venösen Fluß akustisch identifizierbar und somit vermeidbar (s. auch [4]). Zusätzlich kann eine Symmetrie des Fehlers angenommen werden. Aus diesem Grund bleibt der Seitenvergleich methodisch sinnvoll.

Als Kriterium für eine wesentliche Erhöhung des peripheren Widerstandes des Gefäßbettes der Interna wurde im Seitenvergleich beider Communes und Internae eine zumin-

dest 40%ige Reduktion des modifizierten Indexes nach Pourcelot gewählt. Bei Siphonstenosen vor Abgang der A. ophthalmica konnten die Befunde an der A. supratrochlearis bei positivem Ausfall ebenfalls verwertet werden, d.h. wenn eine zumindest 50%ige Reduktion des Flusses im Vergleich zur gesunden Seite [2], ein Pendelfluß oder eine Strömungsumkehr vorlagen (Abb. 1).



**Abb. 1.** Doppler-sonographische Befunde bei Untersuchung der A. supratrochlearis. Orthograde Strömungsrichtung negativ (nach unten), retrograde Flußrichtung positiv (nach oben). K (zwischen den Pfeilen): Kompression der ipsilateralen Aa. temporalis superficialis und facialis. Durchgezogene Linie: 0. Abszisse: Zeit. Ordinate: Strömungsgeschwindigkeit. **Oben:** alternierender Fluß in der A. supratrochlearis, auf Kompression nur orthograde Flußkomponente. **Mitte:** „Nullfluß“ in der A. supratrochlearis, auf Kompression deutlich orthograd. **Unten:** links orthograde Strömungsrichtung, rechts Strömungsumkehr mit deutlicher Reduktion des Flusses auf Kompression

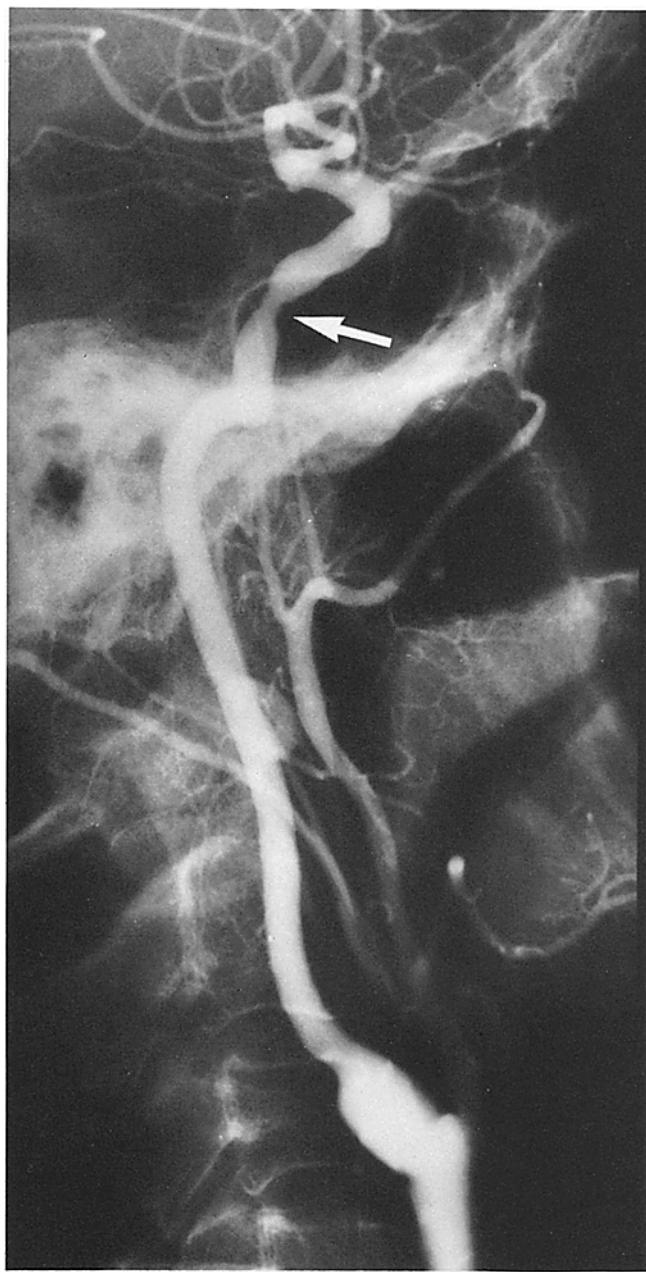
Der Angiographie, die in allen hier erfaßten Fällen durchgeführt wurde, ging immer eine Doppler-sonographische Beurteilung voraus; die letztliche Entscheidung zur Angiographie basierte jedoch auf der klinischen Symptomatik. Insgesamt wurden 1671 retrograde Brachialisarteriographien rechts bzw. Direktpunktionen der linken, in einigen Fällen auch der rechten A. carotis communis im selben Zeitraum durchgeführt.

Die angiographische Beurteilung des Stenosegrades im Siphonbereich vor bzw. nach Abgang der A. ophthalmica bzw. am Mediahauptstamm erfolgte auf der Basis des Lumen-durchmessers, d. h. mittels linearer Messung. Infolge von Überlagerungen waren Siphonstenosen oft nur in einer Ebene

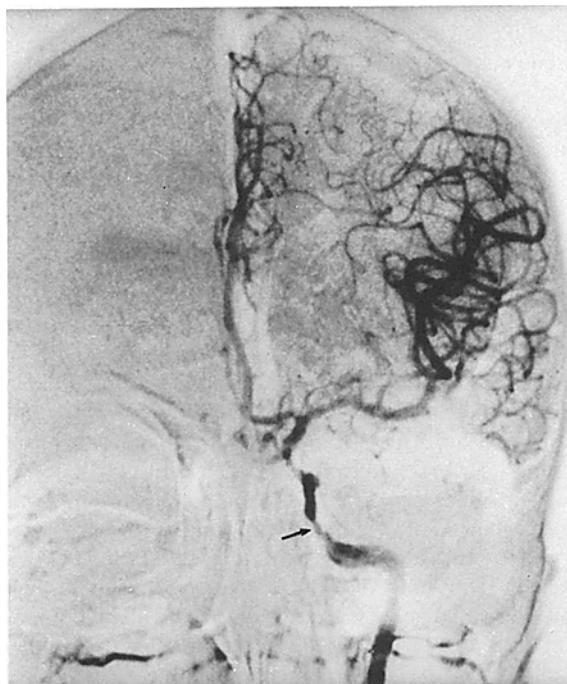
sichtbar. In den übrigen Fällen bezieht sich der angegebene Stenosegrad auf den Mittelwert aus zwei Ebenen.

### Ergebnisse

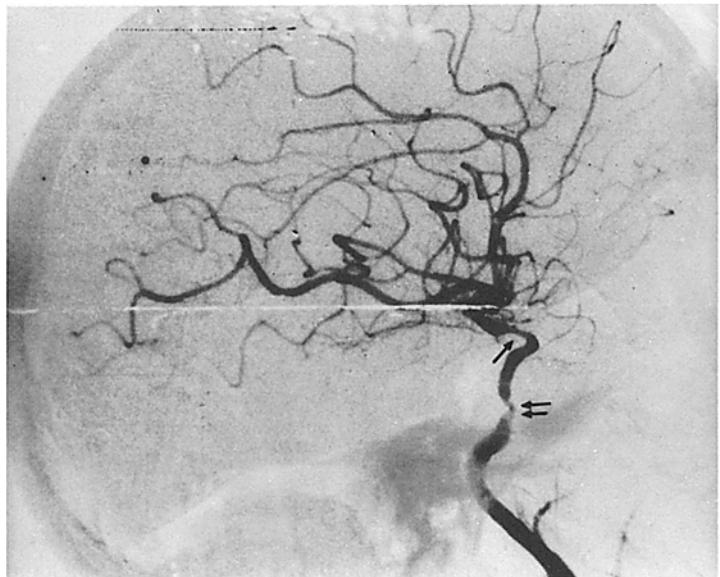
Die 39 Fälle des Untersuchungszeitraumes mit angiographisch bzw. angiographisch und Doppler-sonographisch verifizierten Stenosen oder Verschlüssen der peripheren A. carotis interna und ihrer großen Äste werden vorgestellt.



**Abb. 2.** Carotisarteriographie, ca. 50%ige Stenose im Siphonbereich vor dem Ophthalmicaabgang. Die gleichzeitig vorliegende leichte Internaabgangsstenose war Doppler-sonographisch ebenfalls nicht erfaßt worden. Identisch zum 3. Fall der Tabelle 1



a



b

**Abb. 3a,b.** Carotisarteriographie, Subtraktionsaufnahmen in zwei Ebenen: der Pfeil in a (sagittal) zeigt auf die über 70%ige Stenose, der Doppelpfeil in b (seitlich) auf die zweite Ebene davon. Der Einzelpfeil in b verweist auf die zusätzlich vorliegende ca. 55%ige Stenose („Tandemstenose“). Identisch zum letzten Fall in Tabelle 2

Eingeschlossen sind sämtliche Fälle mit Doppler-sonographischem Hinweis auf eine intracraniale Zirkulationsstörung im Internakreislauf. Alle diese Patienten wurden wegen ihrer klinischen Symptomatik auch angiographiert. Offen bleibt die Zahl derjenigen Patienten, die ein normales Doppler-Sonogramm hatten und deren intracraniale Stenosen nicht entdeckt wurden, weil eine Angiographie mangels klinischer Indikation unterblieb.

Der Vergleich der Ergebnisse der Doppler-Sonographie und der Angiographie wird im folgenden nach der Lokalisation der Befunde aufgeschlüsselt.

### 1. Siphonstenosen vor Abgang der A. ophthalmica

Insgesamt wurden 13 Fälle mit Stenosen im distalen Abschnitt der A. carotis interna im Bereich der Felsenbeinportion oder

**Tabelle 1.** Doppler-sonographische Befunde bei Siphonstenosen vor Abgang der A. ophthalmica. Der modifizierte Pourcelot-Index definiert die relative enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit als Parameter des peripheren Gefäßwiderstandes; die Summe aus modifiziertem und ursprünglichem Pourcelot-Index ist 1

Stenosegrad (angiographisch)	Alter (Jahre)	Mod. Pourcelot-Index A. carotis communis A. carotis interna (betroffene/ gesunde Seite)	Re- duktion des Indexes (%)	Befund an der A. supra- trochlearis
$\leq 50\%$	62	0,16/0,21 0,34/0,33	Seitengleich	
	69	0,12/0,15 0,31/0,29		
	55	0,08/0,08 0,33/0,30		
	63	0,42/0,38 0,50/0,49		
$51\%-59\%$	65	0,10/0,03 0,25/0,26	Seitengleich	
	62	0,16/0,29 0,25/0,40		Pendelfluß
$\geq 60\%-69\%$	62	0,00/0,06 0,08/0,43	100 81	Seitengleich
	42	0,11/0,21 0,19/0,42		Strömungs- umkehr

des unteren Siphonschenkels angiographisch nachgewiesen. Bis auf ein Aneurysma dissecans (Operationsdiagnose) handelte es sich ätiologisch in allen Fällen wahrscheinlich um eine Arteriosklerose. Alle Fälle außer dem erwähnten Aneurysma, das in der pars petrosa der A. carotis interna lag, waren im Siphonbereich lokalisiert. Die Abb. 2 und 3 geben die angiographischen Befunde des dritten Falles aus Tabelle 1 und des letzten Falles aus Tabelle 2 wieder.

Bei 5 der 13 Fälle war die Doppler-sonographische Beurteilung insofern erschwert, als kontralateral zur Siphonstenose entweder eine hämodynamisch wirksame Internaabgangssteno oder eine Internaobliteration vorlagen, so daß ein Seitenvergleich der Communes nicht sinnvoll war.

Tabelle 1 zeigt den modifizierten Pourcelot-Index und die Befunde an der A. supratrochlearis im Seitenvergleich. Die Stenosen sind dabei nach ihrem angiographisch beurteilten Schweregrad aufgeschlüsselt; es ist ablesbar, daß Stenosen unter 60% weder mit dem modifizierten Pourcelot-Index noch mit den Befunden an der A. supratrochlearis Doppler-sonographisch erfassbar sind. Bei Stenosegraden ab 60% zeigt sich durchweg eine über 40%ige Reduktion des modifizierten Pourcelot-Indexes sowohl an der A. carotis communis als auch an der A. carotis interna — lediglich bei der zuerst in Tabelle 1 aufgeführten Stenose von zumindest 60% blieb die Reduktion bei Beurteilung der A. carotis interna knapp unter 40%. Aber sowohl der hier gefundene alternierende Fluß als auch — im letzten Fall — die Strömungsumkehr (Abb. 1) an der A. supratrochlearis sind als weitere positive Kriterien bei der Diagnosefindung zu verewerten. Bemerkenswert ist, daß es nicht in jedem Fall einer über 60%igen Siphonstenose vor dem Ophthalmicaabgang zu einer meßbaren Veränderung an der A. supratrochlearis kam (Tabelle 1).

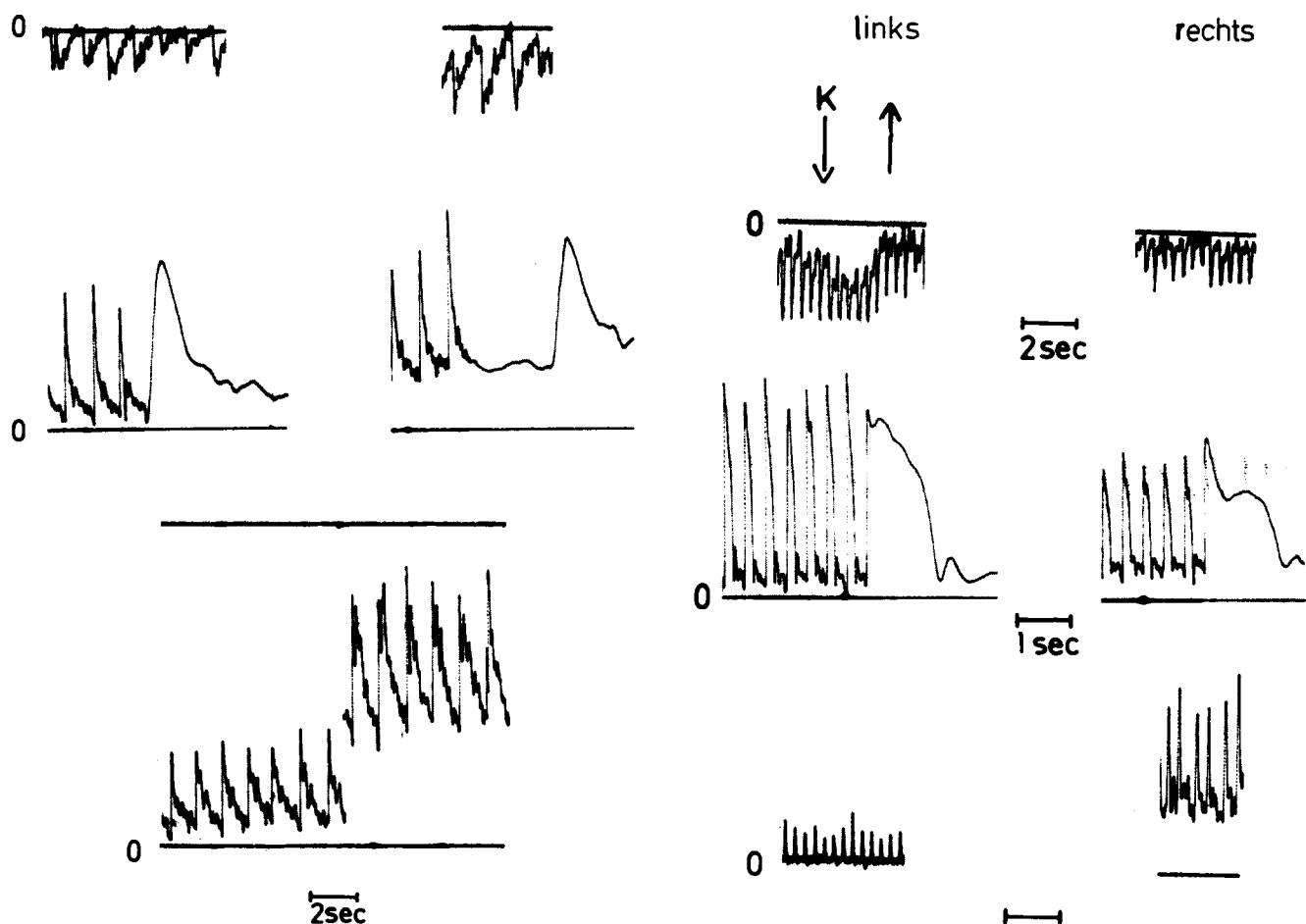
In Tabelle 2 sind die entsprechenden Ergebnisse bei gleichzeitigem Vorliegen einer kontralateralen hochgradigen Internaabgangssteno oder -obliteration festgehalten. Bei diesen Fällen ist der modifizierte Pourcelot-Index für die Doppler-sonographische Beurteilung zumeist nicht verwertbar, da in der Regel über die A. communicans ant. auch die kontralateralen Aa. cerebri ant. und media mitversorgt werden und somit der periphere Gefäßwiderstand jenseits der Siphonstenose weiter sinkt. Diese pathologische Erweiterung des Versorgungsgebietes trägt vermutlich mit dazu bei, daß es in solchen Fällen eher zu einer Strömungsumkehr an der A. supratrochlearis kommt. Der modifizierte Pourcelot-Index liegt nur bei dem zuletzt in Tabelle 2 aufgeführten Fall einer

**Tabelle 2.** Doppler-sonographische Befunde bei Siphonstenosen vor Abgang der A. ophthalmica und kontralateral hämodynamisch wirksamer Internaabgangssteno bzw. -verschluß

Stenosegrad (angiographisch)	Alter (Jahre)	Mod. Pourcelot-Index A. carotis communis A. carotis interna	Befund an der A. supratrochlearis	Befund an der kontralateralen A. carotis interna
$\leq 50\%$	64	0,20 0,46	Orthograd	Internaverschluß
$51\%-59\%$	75	0,23 0,45	Nullfluß, auf Kompression orthograd	Internaverschluß
$\geq 60\%-69\%$	68	0,19 0,33	Orthograd	Internaverschluß
$\geq 70\%-80\%$	71	0,09 0,37	Strömungsumkehr	80–90%ige Internaabgangssteno
	53	0,09 0,22	Strömungsumkehr	80%ige Internaabgangssteno



**Abb.4.** Brachialarteriographie: klinische Diagnose eines Tolosa-Hunt-Syndroms (Cavernosus-Syndroms) mit ca. 45%iger Stenosierung der A. carotis interna im Bereich des Sinus cavernosus



**Abb.5.** Doppler-sonographische Befunde an der A. supratrochlearis (oben), A. Carotis communis (Mitte) und A. carotis interna (unten). Bei der A. supratrochlearis ist die orthograde Strömungsrichtung negativ, bei den anderen Arterien positiv aufgezeichnet. Abszisse: Zeit. Ordinate: Strömungsgeschwindigkeit. Links die linke, rechts die rechte Carotisgruppe. Fall einer über 70%igen funktionellen Siphonstenose nach dem Ophthalmicaabgang infolge von Gefäßspasmen bei einer Subarachnoidalblutung. Vgl. Abb. 8 und den vorletzten Fall aus Tabelle 3

**Abb.6.** Reihenfolge und Benennung wie in Abb.5. Beachte die unterschiedliche Registriergeschwindigkeit. K: Kompression der Aa. temporalis superficialis und facialis ipsilateral. Embolus im Siphonbereich (ca. 80%ige Stenosierung) nach Abgang der A. ophthalmica. Vgl. Abb. 7 und den letzten Fall in Tabelle 3. In diesem Fall war ipsilateral zur Siphonstenose ein erhöhter orthograder Fluß in der A. supratrochlearis ableitbar, kontralateral kein deutlicher Kompressionseffekt

über 70%igen Siphonstenose unterhalb des Variationsbereiches, so daß sich schon damit allein die Verdachtsdiagnose einer intracranialen Zirkulationsstörung ergab. Die Diagnosen der kontralateral aufgefundenen hochgradigen Interna-abgangsstenosen bzw. -obliterationen waren sowohl Doppler-sonographisch als auch angiographisch gestellt worden.

Zwei weitere angiographisch erfaßte Fälle mit Siphonstenosen vor Abgang der A. ophthalmica sind hier nachzutragen: zum einen handelte es sich um ein mediales Keilbeinmeningiom, das die A. carotis interna infolge Umwachsung zu etwa 30% stenosiert hatte, sowie um einen Fall mit der klinischen Diagnose eines Tolosa-Hunt-Syndroms (Abb. 4), bei dem die A. carotis interna zu ca. 45% stenosiert war. Anhand der o. g. Kriterien ist ersichtlich, warum diese beiden Fälle mit einer deutlich unter 60%igen Stenosierung Doppler-sonographisch unentdeckt blieben.

## 2. Siphonstenosen nach Abgang der A. ophthalmica

Wir fanden mittels Angiographie nur 4 Patienten mit wesentlichen, d. h. über arteriosklerotische Wandunregelmäßigkeiten hinausgehenden Siphonstenosen nach Abgang der A.

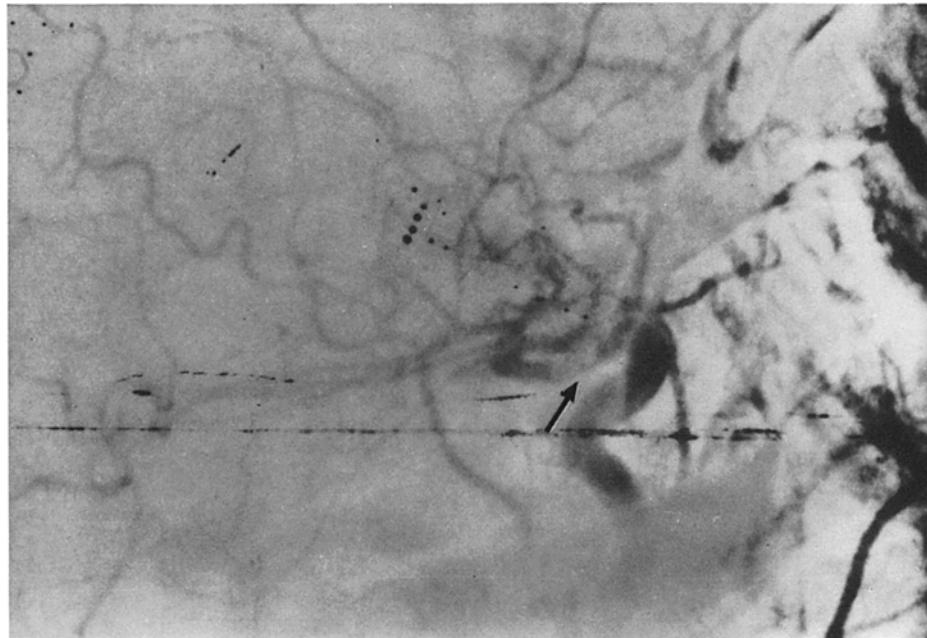
ophthalmica. Ähnlich wie im Fall von Stenosen vor dem Ophthalmicaabgang ist auch hier der modifizierte Pourcelot-Index bei Stenosen über 70% reduziert, und zwar ebenfalls um mehr als 40%. Stenosen zwischen 60% und 70% wurden nicht beobachtet (Tabelle 3).

Allerdings ist hier im Gegensatz zur erstgenannten Patientengruppe der Befund an der A. supratrochlearis nicht als eindeutiges Kriterium zu verwerten, da weder ein Pendelfluß noch eine Strömungsumkehr zu erwarten sind. Nur bei einem der 3 Doppler-sonographisch erfaßten Fälle fand sich — der Theorie entsprechend — ein verstärkter orthograder Fluß in der ipsilateralen A. supratrochlearis als Hinweis auf den erhöhten peripheren Widerstand des Gefäßbettes. Die Abb. 5 und 6 zeigen die typischen Doppler-sonographischen Befunde des erhöhten peripheren Gefäßwiderstandes (Fälle 3 und 4 aus Tabelle 3).

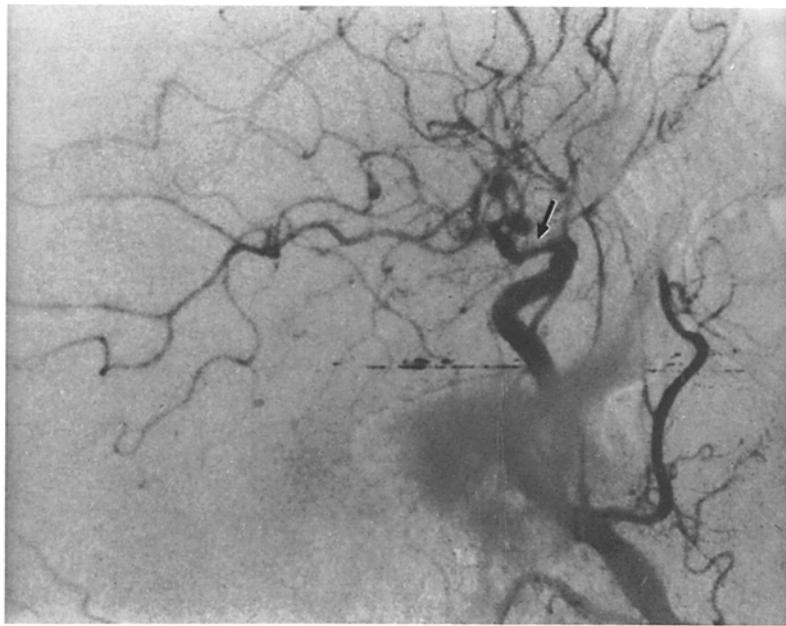
Die Ätiologie der Siphonstenosen in dieser kleinen Patientengruppe ist heterogen: angiographisch wurde in zwei Fällen eine Arteriosklerose diagnostiziert, einmal eine Embolie (Abb. 7), und einmal fanden sich Gefäßspasmen infolge einer Subarachnoidalblutung bei einem Mediaaneurysma (Abb. 8). Der Fall aus Abb. 7 zeigte bei einer Doppler-sono-

**Tabelle 3.** Doppler-sonographische Befunde bei Siphonstenosen nach Abgang der A. ophthalmica

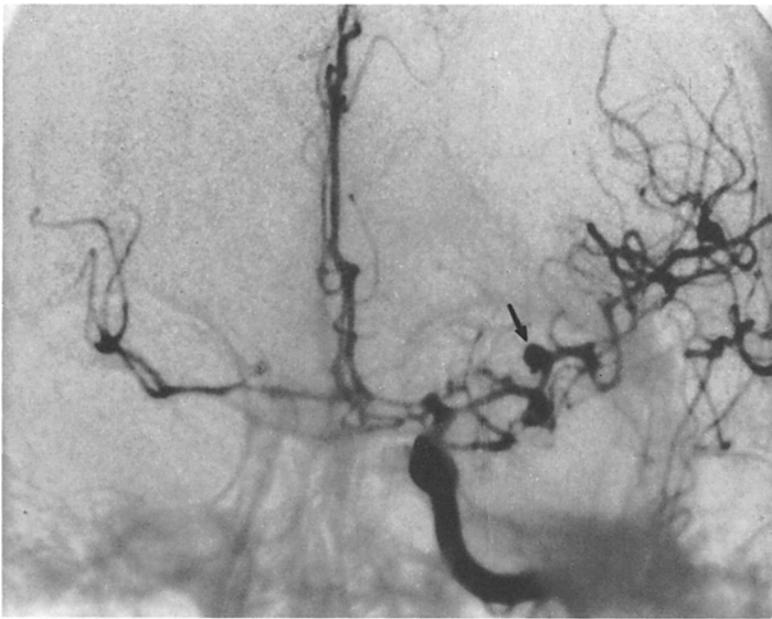
Stenosegrad (angiographisch)	Alter (Jahre)	Mod. Pourcelot-Index A. carotis communis A. carotis interna (betroffene/gesunde Seite)	Reduktion des Indexes (%)	Befund an der A. supratrochlearis	Bemerkungen
<60%	57	0,22/0,24 0,44/0,41		Seitengleich	Ipsilateral 70%ige Internabangstenose
≥70%–80%	56	0,10/0,26 0,24/0,49	62 51	Seitengleich	
	52	0,13/0,33 0,23/0,48	61 52	Seitengleich	SAB bei Mediaaneurysma mit Gefäßspasmen
	61	0,09/0,17 0,00/0,42	47 100	Kräftiger orthograd als kontralateral	Embolus



**Abb. 7.** Carotisarteriographie  
(Subtraktionsaufnahme): im  
Siphonbereich distal des Ophthal-  
micaabgangs findet sich eine ca.  
80%ige Stenosierung, wahrschein-  
lich durch einen Embolus (Pfeil)  
verursacht. Vgl. Abb. 6 und den  
letzten Fall in Tabelle 3



a



b

**Abb. 8.** Carotisarteriographie (Subtraktionsaufnahmen): seitlich (a): funktionelle Siphonstenose (über 70%) infolge Gefäßspasmus (*Pfeil*) bei Subarachnoidalblutung. Sagittal (b): Mediaaneurysma (*Pfeil*); die rechte Mediagruppe wird über die A. communicans ant. infolge des Injektionsdrucks bei der Arteriographie mit dargestellt. Vgl. Abb. 5 und den vorletzten Fall in Tabelle 3

graphischen Kontrolle nach wenigen Wochen eine Normalisierung des peripheren Gefäßwiderstandes, was die These eines Embolus unterstützt.

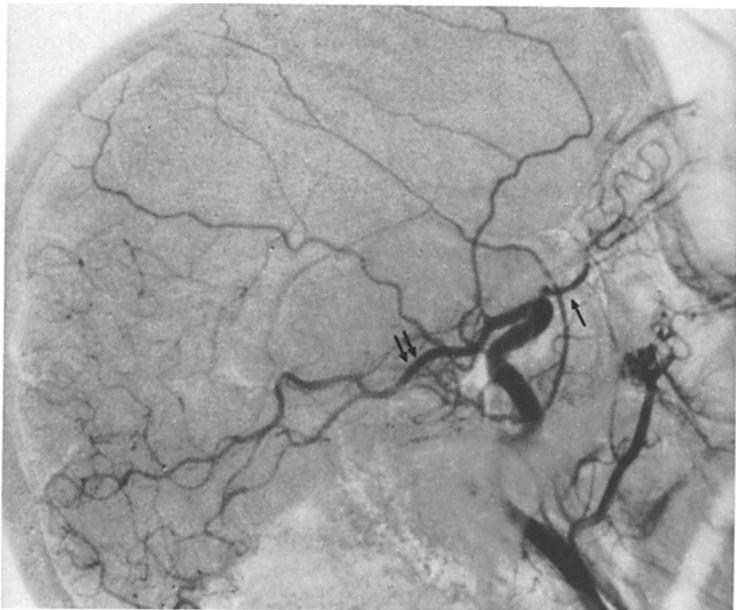
### 3. Supraclinoidale Internaverschlüsse

Diese schwerste Form der peripheren Widerstandserhöhung lag bei 8 Patienten vor (Abb. 9 und 10). In allen Fällen führte bereits die Doppler-Sonographie aufgrund des deutlich reduzierten modifizierten Pourcelot-Indexes (im Mittel um  $56,9 \pm 5,0\%$  (S.E.M.<sup>1</sup>)) zur Verdachtsdiagnose (Abb. 11). Die Befunde an der A. supratrochlearis waren nicht wegweisend, nur in einem Fall wurde die erwartete Flußerhöhung im Ver-

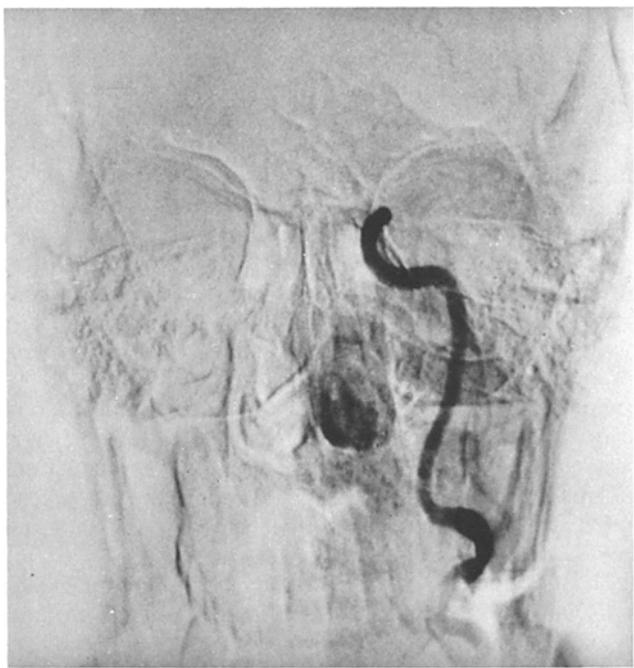
gleich zur Gegenseite gefunden. Die Widerstandserhöhung fällt etwas geringer aus, wenn über eine kaliberkräftige A. communicans post. noch wesentliche Hirnanteile erkennbar versorgt werden (vgl. Abb. 9 und 10).

In einem Fall lag zusätzlich kontralateral eine Internaobliteration an der Bifurkation vor; hier waren der niedrige modifizierte Pourcelot-Index in der A. carotis communis von nur 0,08 sowie der nur akustisch wahrnehmbare Interna-Fluß ohne jegliche diastolische Komponente wegweisend (analog zu Abb. 6). Ein weiterer Fall (Abb. 12) wurde Doppler-sonographisch als tiefe Internaobliteration mißinterpretiert — die Angiographie zeigte hier, daß sich die Interna distal nur noch fadenförmig füllte und nur einen Ast, wahrscheinlich die A. tentoria, sichtbar versorgte.

<sup>1</sup> Standardfehler des Mittelwertes



9



10

**Abb. 9 und 10.** Carotisarteriographien (Subtraktionsaufnahmen) mit Varianten der supraclinoidalen Internaobliteration: Abb. 9 zeigt die A. ophthalmica (Pfeil) und die A. cerebri post. (2 Pfeile) offen; in Abb. 10 findet sich nur die A. ophthalmica (Pfeil) als Endast



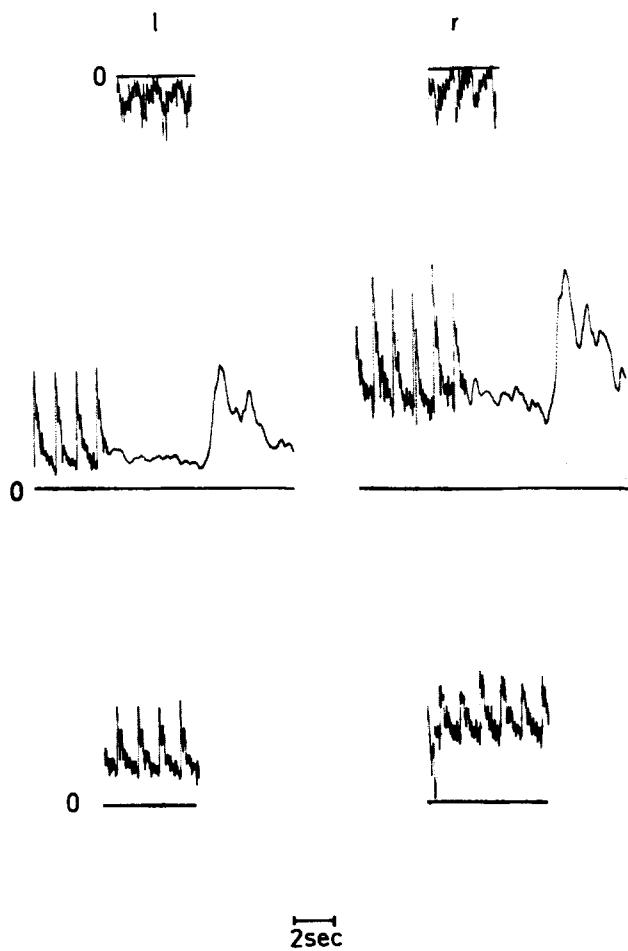
A. carotis interna 0,45). Bei dem an zweiter Stelle aufgeführten Patienten lag die Stenose unserer Auffassung noch zu weit peripher, um den Gesamtwiderstand meßbar zu erhöhen.

#### 4. Mediastenosen

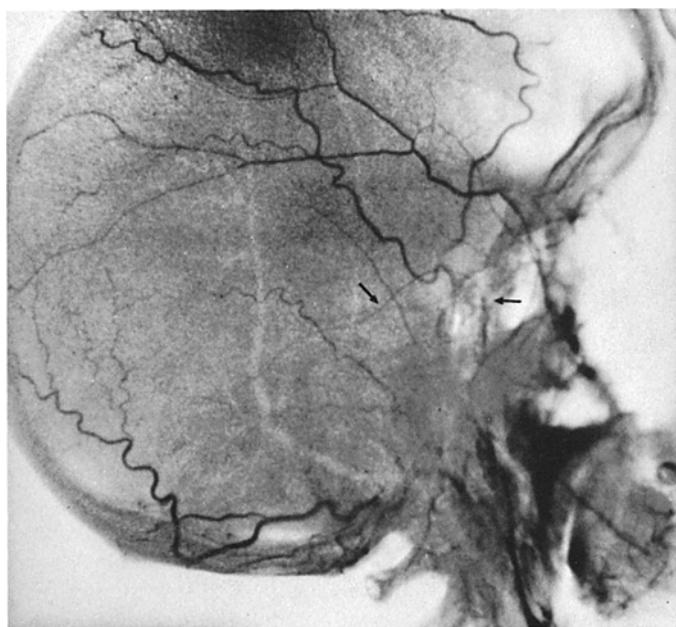
Mediastenosen, die über das Ausmaß arteriosklerotischer Wandunregelmäßigkeiten hinausgingen, waren in dem von uns untersuchten Krankengut bemerkenswert selten. Wir fanden angiographisch überhaupt nur 2 Stenosen im angegebenen Zeitraum: einen Patienten mit einer ca. 55%igen Mediahauptstammstenose (Abb. 13) und einen Fall mit einer hochgradigen Mediaast-Stenose (Abb. 14). Der erste Patient konnte Doppler-sonographisch schon deswegen nicht erfaßt werden, weil kontralateral ein Internaverschluß vorlag, so daß sich — wie angiographisch gezeigt — über die A. communicaans ant. ein weites Gefäßbett erschloß, das den peripheren Widerstand erniedrigte (modifizierter Pourcelot-Index der

#### 5. Mediaverschlüsse

Da proximale Mediaverschlüsse in der Regel embolisch bedingt sind, ist der Krankheitsbeginn des auftretenden neurologischen Defizits meist exakt eruierbar. Die Doppler-sonographische Erstuntersuchung der betroffenen 10 Patienten erfolgte fast immer innerhalb von 24 Std, nur in Ausnahmefällen (an Wochenenden ohne einen Doppler-sonographisch erfahrenen Kollegen als Diensthabenden) spätestens nach 66 Std. Trotz dieser frühzeitigen Erstuntersuchung gelang es uns nur in einem einzigen Fall, die später angiographisch gestellte Diagnose mittels Doppler-Sonographie korrekt vorherzusagen. Der modifizierte Pourcelot-Index der A. carotis interna lag bei den sonographisch unverdächtigen Fällen zwischen



**Abb. 11.** Benennung wie in Abb. 5. Doppler-sonographische Befunde des Falles aus Abb. 9: der periphere Gefäßwiderstand ist zwar deutlich erhöht; da jedoch die A. cerebri post. noch offen ist, bleibt auch noch eine diastolische Flußkomponente erhalten



**Abb. 12.** Carotisarteriographie (Subtraktionsaufnahme): aus der A. carotis interna wird nur noch ein Ast sichtbar gefüllt, wahrscheinlich die A. tentoria (Pfeile). Dieser Fall war dopplersonographisch als tiefe Internaobliteration fehlinterpretiert worden

0,26 und 0,41, im Mittel bei  $0,35 \pm 0,013$  (S.E.M.), mit Seitendifferenzen von durchgehend weniger als 25%. Nur in einem Fall zeigte sich Doppler-sonographisch die deutliche periphere Widerstandserhöhung an der fast völlig fehlenden diastolischen Flußkomponente, so daß der modifizierte Pourcelet-Index der betroffenen Seite sowohl an der A. carotis interna als auch der A. carotis communis auf null abgesunken war.

Alle Doppler-sonographisch nicht erfaßten Fälle zeigten angiographisch eine ausgeprägte Kollateralisierung aus der A. cerebri ant. in die A. cerebri media (Abb. 15). Offenbar stieg bei diesen Fällen der periphere Gefäßwiderstand deshalb auch nicht meßbar an. Bei dem einzigen Doppler-sonographisch erfaßten Fall fanden wir dementsprechend auch keine Kollateralisierung (Abb. 16).

## Diskussion

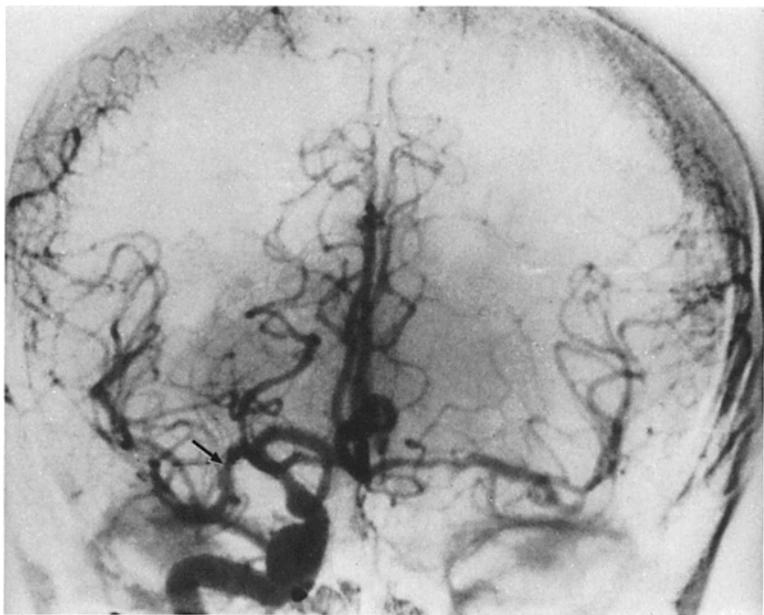
Die Möglichkeit, mittels der direktionellen Doppler-Sonographie der A. carotis nicht nur extracraniale, sondern auch intracraniale Strömungshindernisse zu erkennen, hat bisher relativ wenig Beachtung gefunden. Da letztere nur durch indirekte Kriterien erfaßbar sind bzw. sich der direkten Darstellbarkeit entziehen, ist die Interpretation dieser Befunde schwieriger und weniger sicher als bei extracranialen Carotis-Stenosen. In der vorliegenden Studie haben wir mit Hilfe einer angiographisch-Doppler-sonographischen Korrelation die Aussagemöglichkeiten und Grenzen der Doppler-Sonographie hinsichtlich dieser Fragestellung untersucht.

Wie eingangs beschrieben, verwendeten wir die relative enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit als Parameter des peripheren arteriellen Widerstandes („modifizierter Pourcelet-Index“). Die Anwendung dieses Parameters erwies sich als sinnvoll, da hämodynamisch wirksame Internastenosen bzw. -obliterationen reproduzierbar an zumindest 40%igen Seiten-differenzen dieses Indexes erkennbar waren.

Im Gegensatz zur Literatur [5, 7] fanden wir die überwiegende Reduktion der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit nicht nur an der A. carotis communis, sondern auch an der A. carotis interna (vgl. Abb. 5 und 11). Dementsprechend erwies sich der Widerstandsindex bei beiden Arterien mit gleichem Grenzwert als aussagekräftig.

Hämodynamisch wirksame intracraniale Internastenosen und -obliterationen führen immer — unabhängig von ihrer genauen Lokalisation — zu einem pathologischen Befund am extracranialen Carotisabschnitt. In unserem Untersuchungsgut blieb die Doppler-Sonographie nur bei den unter 60%igen Stenosen unauffällig. Naturgemäß ist das alleinige Kriterium des Seitenvergleichs des Widerstandsindexes bei hochgradigen Strömungshindernissen der Gegenseite nicht brauchbar. Bei diesen Fällen wies einmal ein absolut sehr niedriger Widerstandsindex, in anderen Fällen eine Ophthalmicamumkehr auf die Diagnose hin. Differentialdiagnostische Probleme in der Abgrenzung zwischen tiefen und intracranialiellen Obliterationen der A. carotis interna ergaben sich abgesehen von einem Fall mit filiformem Restlumen nicht.

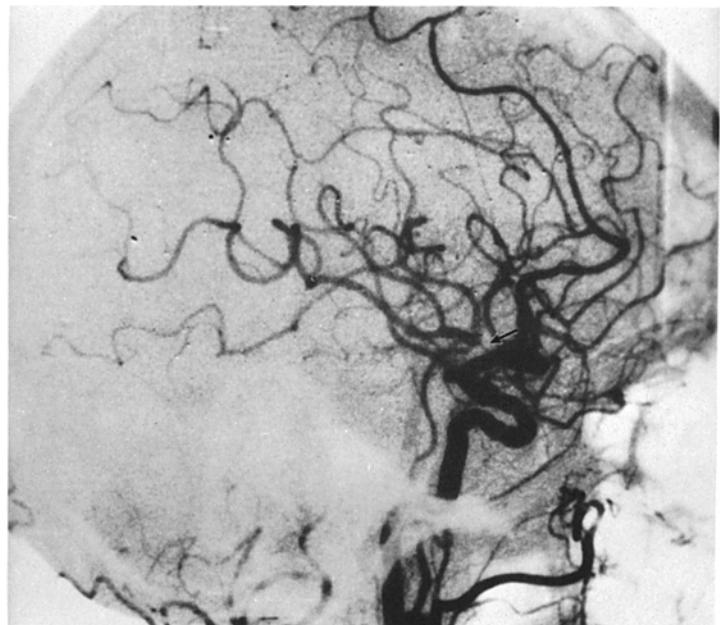
Mediaverschlüsse führten nur in einem unserer 10 Fälle zu einem pathologischen Doppler-Befund trotz Untersuchung innerhalb von spätestens 66 Std nach Auftreten der neurologischen Symptomatik. In den von uns ausgewerteten 1671 Angiographien fand sich nur eine Mediahauptstammstenose. Diese konnte schon allein aufgrund der gleichzeitig vorliegen-



**Abb. 13.** Brachialisarteriographie rechts (Subtraktionsaufnahme): ca. 55%ige Mediahauptstammstenose rechts (*Pfeil*). „Cross-filling“ der linken Anterior- und Mediagruppe über die A. communicans ant. infolge einer tiefen Internaobliteration links



a



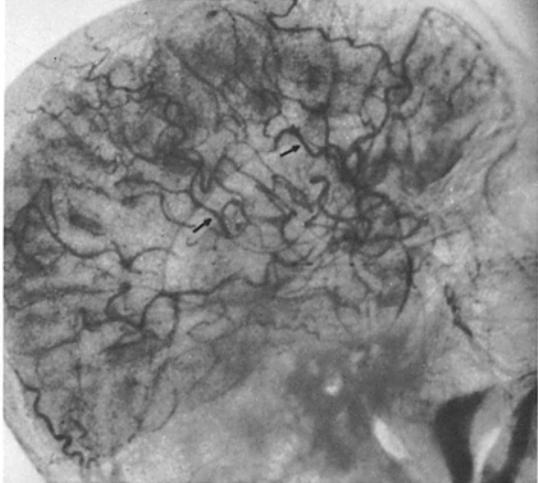
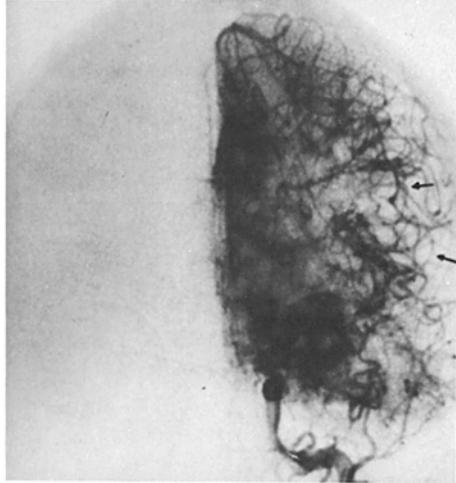
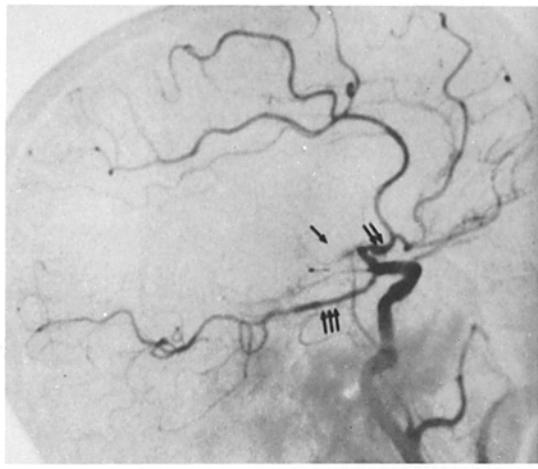
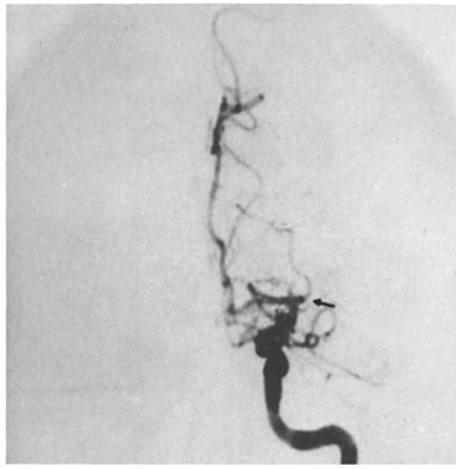
b

**Abb. 14a, b.** Brachialisarteriographie (Subtraktionsaufnahmen): sowohl in der sagittalen Ebene (a, *Pfeil*) als auch seitlich (b, *Pfeil*) ist die Mediaast-Stenose sichtbar

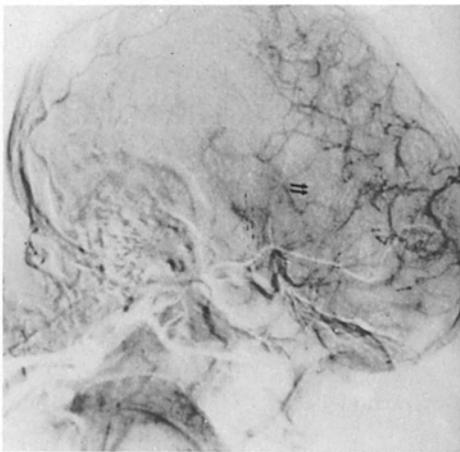
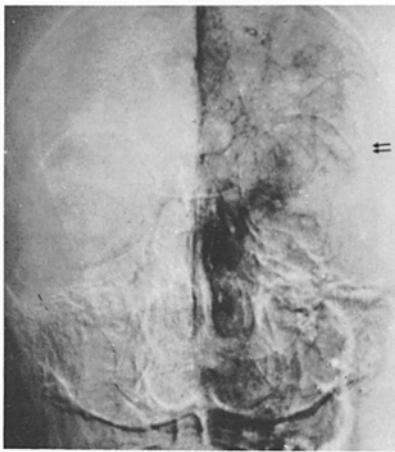
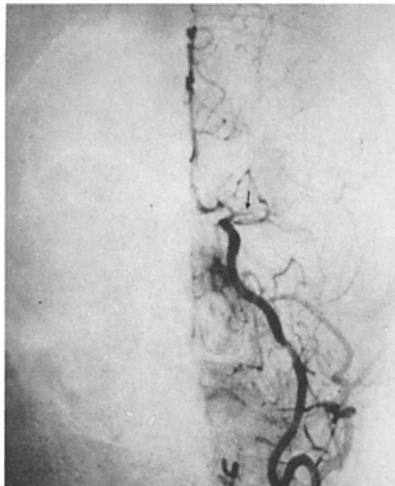
den Internaobliteration kontralateral sonographisch nicht erfaßt werden.

Explizite Aussagen über die sonographische Erfassbarkeit intracranieller Internastenosen fanden wir in der Literatur nicht. Die von uns festgestellte Grenze von 60% entspricht jedoch erwartungsgemäß dem Wert, bei dem allgemein der Beginn der häodynamischen Wirksamkeit extracranieller

Stenosen angesetzt wird [2]. Von Reutern et al. [7] berichteten über pathologische Doppler-Befunde bei 4 Mediaverschlüssen und einer Mediahauptstammstenose — Dopplersonographische Normalbefunde kamen in solchen Fällen bei ihnen nicht vor. Aufgrund unserer Untersuchungsergebnisse nehmen wir an, daß dieses günstige Ergebnis Folge einer (im Gegensatz zu unserer Studie) an der Doppler-Sonographie



15



16

**Abb. 15 und 16.** Carotisarteriographien (Subtraktionsaufnahmen) bei Mediaobliteration: in Abb. 15 oben früharterielle Phase mit Mediaobliteration (*Pfeil*), die Aa. cerebri ant. (2 *Pfeile*) bzw. cerebri post. (3 *Pfeile*) offen. Unten die spätarterielle Phase mit retrograd aus der Aa. cerebri ant. gefüllten Mediaästen (*Pfeile*). Abb. 16 zeigt in der früharteriellen Phase (oben) entsprechende Befunde, lediglich die Aa. cerebri post. bzw. communicans post. sind nicht dargestellt. Die spätarterielle Phase (unten) weist in diesem Fall keine retrograd gefüllten Mediaäste auf

orientierten Angiographie-Indikation ist. Von Reutern et al. [7] nehmen allerdings in ihrer Studie zur genauen Angiographie-Indikation nicht Stellung.

Die geringe Sensitivität der Doppler-Sonographie für Mediaverschlüsse ist unserer Auffassung nach Folge der häufig feststellbaren ausgeprägten Kollateralisation zwischen den Aa. cerebri ant. und media; dementsprechend fehlte diese Kollateralenbildung bei dem einzigen sonographisch erfaßten Fall eines Mediaverschlusses in unserer Untersuchungsreihe.

Die zusätzliche Ableitung der A. supratrochlearis erlaubt unseres Erachtens nach in der Regel keine zuverlässige Aussage über die Lokalisation der Stenose. Nullfluß stellt einen wahrscheinlichen, Pendelfluß und Strömungsumkehr einen sicheren Hinweis auf eine proximal des Ophthalmicaabgangs lokalisierte Internastenose dar. Normale Befunde an der A. supratrochlearis hatten jedoch 2 unserer 6 Fälle mit Stenosen von zumindest 60%.

Hochgradige Strömungshindernisse der kontralateralen A. carotis interna tragen offenbar mit zur Ausbildung einer Ophthalmicaumkehr bei. Dies ist vermutlich Folge der Verschiebung der Wasserscheide nach intracraeniell auch im Bereich der Ophthalmicakollateralen auf der Gegenseite der extracraeniellen Gefäßläsion. So zeigte der zweite Fall in Tabelle 2 mit einer Carotissiphonstenose zwischen 50% und 60% und kontralateraler Internaobliteration schon einen Nullfluß in der A. supratrochlearis.

Sowohl Müller [4] als auch von Reutern et al. [7] beschreiben eine größere Strömungsgeschwindigkeit der ipsilateralen A. supratrochlearis bei Stenosen und Verschlüssen distal des Ophthalmicaabgangs als typischen Befund. Im Gegensatz hierzu fanden wir diese auch theoretisch plausible Konstellation nur in 2 von 13 Fällen.

Zusammenfassend leiten wir folgende Schlußfolgerungen aus unseren Ergebnissen ab:

- Durch den von uns verwendeten modifizierten Pourcelot-Index werden intracraenielle Carotisstenosen ab 60% Lumeneinengung zuverlässig angezeigt und Stenosen geringeren Grades regelmäßig nicht erfaßt.
- Nur bei Vorliegen von Nullfluß, Pendelfluß oder Strömungsumkehr in der A. supratrochlearis kann auf eine Lokalisation der Stenose vor dem Ophthalmicaabgang geschlossen werden. Normale Befunde geben diesbezüglich keinen Lokalisationshinweis.
- Angesichts der außerordentlich geringen Zahl von Mediahauptstammstenosen in unserem Untersuchungsgut erscheint es zweifelhaft, ob die relativ zeitaufwendige transcranielle Doppler-Sonographie [1] als Suchmethode für solche Stenosen geeignet ist.

– Mediaverschlüsse werden in der Mehrzahl der Fälle Doppler-sonographisch nicht erfaßt.

Aus unseren Untersuchungsergebnissen kann u. E. gefolgt werden, daß die Doppler-Sonographie nicht nur bei Läsionen des extra-, sondern auch des intracraeniellen Carotisabschnitts zuverlässige Befunde liefert, d. h. eine hohe Spezifität besitzt.

Wegen der geringen Sensitivität des Doppler-Sonogramms für unter 60%ige und doppelseitige intracraenielle Carotisstenosen sowie für Obstruktionen der A. cerebri media kann sich die Angiographie-Indikation jedoch nicht auf den Doppler-Befund als Hauptkriterium stützen. Die klinische Angiographie-Indikation sollte u. E. führend sein, wenn es um den Ausschuß bzw. den Nachweis von Zirkulationsstörungen der distalen Carotisstrombahn geht. Die Bedeutung der Doppler-Sonographie liegt darin, daß pathologische Befunde bei klinisch uneindeutigen Fällen den entscheidenden Anstoß zur Angiographie geben können, und häufige Verlaufskontrollen bekannter, sonographisch darstellbarer Läsionen möglich sind.

Seit der Einführung der extra-intracraeniellen Bypass-Chirurgie hat auch der Nachweis chirurgisch nicht direkt angehbarer intracraenieller Stenosen und Verschlüsse zumindest in einigen Fällen prognostisch eine richtungsweisende Bedeutung.

## Literatur

1. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H (1982) Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 57: 769-774
2. Büdingen HJ, Reutern GM von, Freund HJ (1982) Doppler-Sonographie der extrakraeniellen Hirnarterien. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
3. Müller HR (1971) Direktionelle Doppler-Sonographie der Arteria frontalis medialis. *EEG-EMG* 2: 24-32
4. Müller HR (1976) Doppler-Sonographie der Carotis-Strombahn. *Internist* 17: 570-579
5. Pourcelot L (1976) Diagnostic ultrasound for cerebral vascular diseases. In: Donald I, Levi S (eds) Present and future of diagnostic ultrasound. John Wiley, New York, pp 141-147
6. Reutern GM von, Büdingen HJ, Hennerici M, Freund HJ (1976) Diagnose und Differenzierung von Stenosen und Verschlüssen der Arteria carotis mit der Doppler-Sonographie. *Arch Psychiatr Nervenkr* 222: 191-207
7. Reutern GM von, Voigt K, Ortega-Suhrkamp E, Büdingen HJ (1977) Dopplersonographische Befunde bei intrakraeniellen vaskulären Störungen. *Arch Psychiatr Nervenkr* 223: 181-196

Eingegangen am 21. Dezember 1984