

# Die Doppler-sonographische Beurteilung der Funktionsfähigkeit extra-intracrazieller Anastomosen

Stefan Biedert, Ralph Winter, Heribert Betz und Roland Reuther

Neurologische Klinik (Direktor: Prof. Dr. Heinz Gänshirt), Voß-Strasse 2, D-6900 Heidelberg, Bundesrepublik Deutschland

## Doppler-Sonographic Evaluation of Extra-Intracranial Anastomoses

**Summary.** We report on the results obtained by means of directional continuous-wave Doppler sonography in 33 patients with superficial temporal-to-middle cerebral artery anastomoses. Recurrent transient ischaemic attacks or a recent mild neurological deficit were considered as justification for bypass surgery in cases of angiographically proven occlusions of one or both internal carotids, severe intracranial carotid artery disease, or stenoses and occlusions of the M-1 segment of the middle cerebral artery. The efficiency of the anastomosis was evaluated by the modified Pourcelot indices (relative end-diastolic flow velocity) of the preauricular superficial temporal artery and of the bypass-supplying branch at the edge of the burr-hole. The influence of intermittent compression of the bypass-supplying branch on the modified Pourcelot index of the ipsilateral common carotid was used as a further criterion for sonographic evaluation. All efficient anastomoses, defined by a modified Pourcelot index of at least 0.20 at the edge of the burr-hole, exhibited an average reduction of 0.08 in the relative end-diastolic flow velocity in the common carotid during compression. In the 18 patients with unilateral occlusion of the internal carotid, bypass surgery was predominantly efficacious (by the above criterion) in those patients who showed a reduction in the sum of the modified Pourcelot indices of the remaining brain-supplying arteries of at least 10% as compared with age-matched controls. The subgroups of existing and absent collaterals through the ophthalmic artery did not show any differences with respect to the percentage of efficient anastomoses. In all four patients with bilateral internal carotid artery occlusion, bypass surgery was effective, while the anastomosis was insufficient in 50% of the patients with intracranial carotid artery disease. The two patients with a stenosis or an occlusion of the M-1 segment of the middle cerebral artery showed modified Pourcelot indices of the anastomosis-supplying branch of 0.45 and 0.46 at the edge of the burr-hole, respectively. Thus, we believe that the efficacy of a superficial temporal-to-middle cerebral artery anastomosis can be evaluated semi-quantitatively by directional continuous-wave Doppler sonography. The preoperatively calculated sum of the modified Pourcelot indices of the remaining brain-supplying arteries can be used as an additional criterion for evaluating whether or not bypass surgery is necessary, at least in cases of unilateral and bilateral internal carotid occlusions.

**Key words:** Doppler sonography – Extra-intracranial bypass – Internal carotid occlusion – Intracranial carotid artery disease

Sonderdruckanforderungen an: S. Biedert, Zentralinstitut für Seelische Gesundheit, J 5, D-6800 Mannheim, Bundesrepublik Deutschland

**Zusammenfassung.** Wir berichten über die Doppler-sonographischen Ergebnisse bei 33 Patienten mit einer Anastomose zwischen der A. temporalis superficialis und der A. cerebri media. Die Indikation zur Bypass-Operation beinhaltete rezidivierende TIA oder ein kurz zuvor erworbene leichtes neurologisches Defizit bei angiographischem Nachweis einseitiger oder beidseitiger tiefer Obliterationen der A. carotis interna und hochgradiger Stenosen oder Verschlüsse im distalen Abschnitt der A. carotis interna bzw. im proximalen Abschnitt der A. cerebri media. Die Funktionsfähigkeit der Anastomose wurde überprüft durch die Berechnung der modifizierten Pourcelot-Indices (relative enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit) der A. temporalis superficialis praearicular und am Bohrlochrand sowie durch den Einfluß der intermittierenden Kompression des den Bypass-versorgenden Gefäßes auf den modifizierten Pourcelot-Index der ipsilateralen A. carotis communis. Bei allen Patienten mit funktionsfähigen Anastomosen, definiert durch einen modifizierten Pourcelot-Index von zumindest 0,20 am Bohrlochrand, kam es zu einer Reduktion dieses Parameters um durchschnittlich 0,08 an der A. carotis communis bei kurzfristiger Kompression des den Bypass-versorgenden Astes. Bei den 18 Patienten mit unilateraler Obliteration der A. carotis interna war der Bypass überwiegend dann funktionsfähig, wenn die summierten modifizierten Pourcelot-Indices der verbliebenen hirnversorgenden Gefäße um zumindest 10% gegenüber einem vergleichbaren Normalkollektiv reduziert waren. Das Vorhandensein bzw. das Fehlen von Ophthalmica-Kollateralen hatte dabei keinen Einfluß auf den Prozentsatz der funktionsfähigen Anastomosen in diesen Untergruppen. Bei den vier Patienten mit bilateraler Obliteration der A. carotis interna war die angelegte Anastomose in jedem Fall funktionsfähig, während die Hälfte der Patienten mit Stenosen und Verschlüssen im distalen Abschnitt der Carotisstrombahn nur eine ungenügende Bypass-Funktion zeigten. Die zwei Patienten mit einer Mediahauptstammstenose bzw. -obliteration hatten Indices von 0,45 bzw. 0,46 am Bohrlochrand als Hinweis auf die Funktionstüchtigkeit. Wir sind der Auffassung, daß man mittels Doppler-sonographischer Kriterien die Funktionsfähigkeit einer Temporalis superficialis-Cerebri media-Anastomose überprüfen kann. Der praeoperativ berechnete summierte modifizierte Pourcelot-Index der verbliebenen hirnversorgenden Arterien kann zumindest bei uni- und bilateraler Internaobliteration als zusätzlicher Parameter herangezogen werden, um die Indikation zur Bypass-Operation zu klären.

**Schlüsselwörter:** Doppler-Sonographie – Extraintracrazieller Bypass – Obliteration der A. carotis interna – Intracrazielle Carotisstenosen

## Einleitung

Die direktionelle Doppler-Sonographie der extracranialen Abschnitte der Carotiden und der Vertebralarterien ist mittlerweile als Standardmethode etabliert [3, 8, 9]. Auch hochgradige intracraniale Stenosen im Carotisstromgebiet [2, 10] sowie schwerwiegende Zirkulationsstörungen im Gebiet der A. basilaris [11, 13] können mittels dieser Technik vorhergesagt werden. Hopman et al. [6], Müller und Gratzl [7] und Büdingen et al. [3] hatten bereits auf die Möglichkeit der Funktionsprüfung eines extra-intracranialen (EC-IC) Bypass hingewiesen. In der vorliegenden Studie berichten wir über die Funktionsprüfung nach Bypass-Operationen (Temporalis superficialis-Cerebri media-Anastomose) und entwickeln mögliche Doppler-sonographische Kriterien, die praoperativ als Indikator für eine wahrscheinliche Wirksamkeit des geplanten Bypass eingesetzt werden können.

## Patienten und Methoden

Die vorliegende Arbeit umfaßt retrospektiv die Ergebnisse von 10162 Doppler-Sonographien, die innerhalb der letzten fünf Jahre in unserer Klinik angefertigt wurden.

Die an der Neurologischen Universitätsklinik mit Neurophysiologie in Freiburg von der Arbeitsgruppe um Büdingen, von Reutern und Freund [3, 8, 9] ausgearbeitete Doppler-Sonographie der Carotiden und der Vertebralarterien wurde von unserer Klinik in den wesentlichen Punkten übernommen, wie an anderer Stelle erwähnt [2, 13].

Als Index des peripheren Gefäßwiderstandes haben wir früher [2] das Verhältnis von enddiastolischer zu maximaler Strömungsgeschwindigkeit definiert und als modifizierten Pourcelot-Index bezeichnet.

Die Beziehung zwischen dem modifizierten Pourcelot-Index und dem Strömungsvolumen eines Gefäßes unterliegt sicherlich nicht einer strengen Proportionalität, da Einflüsse wie z.B. die Herzfrequenz nicht berücksichtigt sind. Wie jedoch die vertretbare Streuung bei einem Normalkollektiv erkennen läßt, handelt es sich bei dem modifizierten Pourcelot-Index um einen klinisch sinnvollen Parameter.

Eine Abnahme des Gefäßradius distal der Meßstelle führt früher zu einer Abnahme der diastolischen als der systolischen Strömungsgeschwindigkeit [3] und damit zu einer Reduktion des von uns verwendeten modifizierten Pourcelot-Indexes. Da dieser Index winkelunabhängig ist, erlaubt er einen interindividuellen Vergleich und somit eine statistische Aussage.

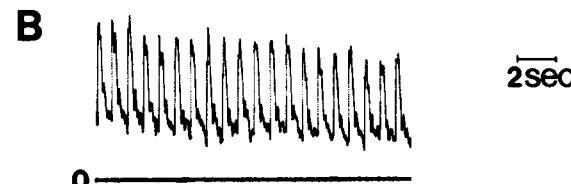
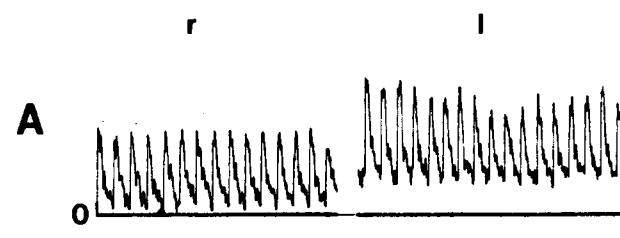
Wir haben die modifizierten Pourcelot-Indices durch Strompulsregistrierung der Carotiden am Kieferwinkel und der Vertebralarterien an der Atlasschleife beidseits berechnet und die Summe der Indices beider Carotiden bzw. beider Vertebralarterien sowie aller vier Gefäße gebildet, da alle Gefäße an der Hirnbasis im Idealfall eine funktionelle Einheit bilden und im Fall des Verschlusses eines Gefäßes zur Kollateralversorgung wesentlich beitragen.

Die Indikation zur Anlage eines EC-IC Bypass waren wiederholte TIA bei angiographisch nachgewiesener tiefer Obliteration der A. carotis interna sowie bei hochgradiger Stenose oder Verschluß im distalen Abschnitt der A. carotis interna bzw. im proximalen Segment der A. cerebri media, insbesondere wenn Kontraindikationen gegen eine Antikoagulation sprachen. Daneben wurden auch Patienten operiert, die als

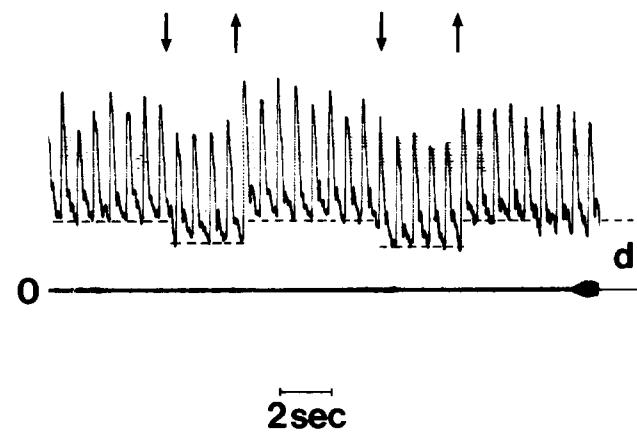
Folge der o.g. Gefäßbefunde ein leichtes neurologisches Defizit kurze Zeit zuvor erlitten hatten.

Die Funktionsprüfung der hier dargestellten Fälle mit einem Bypass zwischen der A. temporalis superficialis und der A. cerebri media wurde folgendermaßen durchgeführt (s. Abb. 1-3):

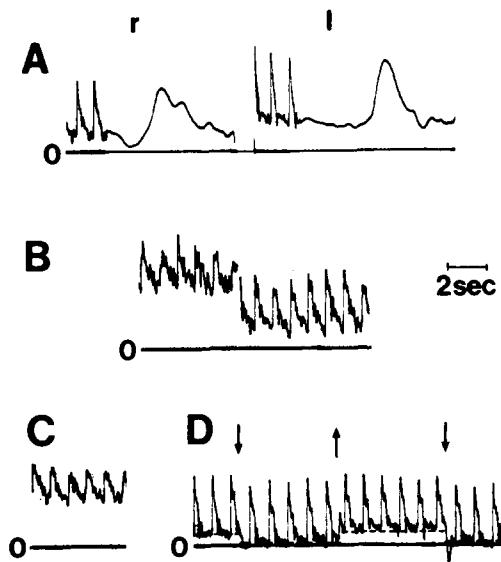
1. Strompulsregistrierung der Aa. temporales superficiales praeariculär mit Seitenvergleich des modifizierten Pourcelot-Indexes.
2. Strompulsregistrierung des Bypass-versorgenden Astes der A. temporalis superficialis kurz vor dem Bohrlochrand mit Berechnung des modifizierten Pourcelot-Indexes.
3. In den letzten vier Jahren zusätzlich Strompulsregistrierung der A. carotis communis auf der Bypass-Seite mit intermit-



**Abb. 1A, B.** Doppler-sonographische Befunde des 3. Falles aus Tabelle 5. Obliteration der A. carotis interna beidseits mit EC-IC Bypass links. **A** Ableitung der A. temporalis superficialis praeariculär; *r* = rechts, *l* = links. **B** Ableitung des Bypass-versorgenden Astes der A. temporalis superficialis kurz vor dem Bohrlochrand. Die Ableitung erfolgte im Intervall von 12–24 Monaten postoperativ; Ophthalmica-Kollateralen waren zu diesem Zeitpunkt bds. nicht nachweisbar



**Abb. 2.** Doppler-sonographische Aufzeichnung der A. carotis communis bei unilateraler Obliteration der A. carotis interna (mit persistierenden Ophthalmica-Kollateralen) mit intermittierender Kompression (zwischen den nach unten und nach oben gerichteten Pfeilen) des Bypass-versorgenden Astes der A. temporalis superficialis. *d* = enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit. *Abszisse*: Zeit; *Ordinate*: Strömungsgeschwindigkeit. 1. Fall aus Tabelle 3, Ableitung 1–2 Monate postoperativ



**Abb. 3A-D.** Doppler-sonographische Befunde des 2. Falles aus Tabelle 4, Ableitungszeitpunkt 2-4 Monate postoperativ. Obliteration der A. carotis interna rechts ohne Nachweis von Ophthalmica-Kollateralen. **A** A. carotis communis. **B** A. temporalis superficialis praeariculär; *r* = rechts, *l* = links. **C** Aufzeichnung des Bypass-versorgenden Astes der A. temporalis superficialis kurz vor dem Bohrlochrand. **D** Einfluß der intermittierenden Kompression (zwischen den nach unten und nach oben gerichteten Pfeilen) des Bypass-versorgenden Astes kurz vor dem Bohrlochrand auf die enddiastolische (*d*) Strömungsgeschwindigkeit der A. carotis communis. Abszisse: Zeit; Ordinate: Strömungsgeschwindigkeit

tierender Kompression des die Anastomose versorgenden Astes kurz vor dem Bohrlochrand. Der Einfluß der Kompression auf die diastolische Flußkomponente in der A. carotis communis wurde mit Hilfe der Erniedrigung des modifizierten Pourcelot-Indexes während des Kompressionsversuches berechnet.

Die Registrierung der Strömungsgeschwindigkeit der A. carotis externa erbrachte keine darüber hinausgehende Information hinsichtlich der Bypass-Funktion.

Das Problem, daß sich die zur Anastomose führenden Externäste bei funktionstüchtigem Bypass erheblich erweitern, d.h. die gemessene Geschwindigkeit auch bei zunehmendem Stromvolumen nicht steigen muß, wurde zum einen durch die Verwendung des modifizierten Indexes umgangen, zum anderen durch die Registrierung an der A. carotis communis während intermittierender Kompression am Bohrlochrand.

Alle hier erfaßten Fälle wurden praeoperativ angiographiert. Eine routinemäßige Kontrollangiographie zur Prüfung der Bypass-Funktion wurde mangels klinischer Indikation nicht durchgeführt. Der Angiographie ging immer eine Doppler-sonographische Beurteilung voraus; die letzliche Entscheidung zur Angiographie basierte jedoch auf der klinischen Symptomatik. Insgesamt wurden 3094 retrograde Brachialisarteriographien bzw. Direktpunktionen der linken, in einigen Fällen der rechten A. carotis communis im angegebenen Zeitraum durchgeführt.

Die angiographische Beurteilung des Stenosegrades erfolgte auf der Basis des Lumendurchmessers, d.h. mittels linearer Messung. Infolge von Überlagerungen waren Carotis-Siphon-Stenosen in einigen Fällen nur in einer Ebene sichtbar, in den übrigen Fällen bezieht sich der angegebene Stenosegrad auf den Mittelwert aus zwei Ebenen.

## Ergebnisse

Im folgenden werden 33 Fälle mit EC-IC Bypass vorgestellt und nach der Lokalisation des praeoperativ angiographisch nachgewiesenen Strömungshindernisses unterteilt.

### Normalkollektiv

Die modifizierten Pourcelot-Indices der Carotiden und der Vertebralarterien wurden bei 326 Patienten ohne manifestes neurologisches Defizit ermittelt und nach Altersgruppen klassifiziert. Zusätzlich wurden die Indices bei 111 Patienten mit einseitiger Vertebralishypoplasie ermittelt. Dabei ergaben sich zwischen diesen Patientengruppen hinsichtlich der Indices der Carotiden keine Unterschiede. Innerhalb der Altersgruppen konnten auch keine Geschlechtsunterschiede der Indices festgestellt werden.

Etwa die Hälfte der Patienten des Normalkollektivs wurde bei regelrechtem Doppler-sonographischen Befund wegen transitorisch-ischämischer Attacken zumindest einseitig angiographiert, ohne daß sich dabei erhebliche umschriebene Stenosen oder arteriosklerotische Unregelmäßigkeiten gefunden hätten. In diese Gruppe gingen auch Patienten ein, die zum Ausschluß bzw. Nachweis eines Hirntumors oder einer vaskulären Malformation angiographiert wurden. Bei den jüngeren Altersgruppen bis 49 Jahren ist der prozentuale Anteil an angiographischen Kontrollen geringer: die Indikation zur Doppler-Sonographie beinhaltet bei diesen Patienten das Vorliegen unspezifischer Symptome wie Schwindel oder nicht-pulssynchroner Tinnitus, die Frage nach einem Angiom bei Migränepatienten oder nach extracranialen Stenosen bei bekannten Stoffwechselkrankungen wie Diabetes mellitus oder primärer Hyperlipidämie. Bei keinem dieser Patienten gab es in der Anamnese oder im Befund Hinweise für TIA bzw. abgelaufene Infarkte.

In den Tabellen 1 und 2 sind die Ergebnisse nach Altersklassen aufgelistet. Mit zunehmendem Alter nimmt dabei die

**Tabelle 1.** Altersabhängigkeit des modifizierten Pourcelot-Indexes der A. carotis interna. Der modifizierte Pourcelot-Index ist definiert als das Verhältnis der enddiastolischen zur maximalen Strömungsgeschwindigkeit, gemessen am Kieferwinkel

Alter (Jahre)	Modifizierter Pourcelot-Index A. carotis interna Mittelwert $\pm$ S.D. Minimum-Maximum	Seitendifferenz der Indices (in % des höheren Wertes) Mittelwert $\pm$ S.D. Minimum-Maximum
< 40	0,41 $\pm$ 0,035	5,8 $\pm$ 4,2
2n = 144	0,33-0,50	0-17,1
40-49	0,39 $\pm$ 0,038	6,1 $\pm$ 5,5
2n = 142	0,30-0,48	0-19,5
50-59	0,36 $\pm$ 0,039	6,7 $\pm$ 4,7
2n = 176	0,29-0,45	0-17,1
60-69	0,34 $\pm$ 0,044	7,3 $\pm$ 4,9
2n = 176	0,27-0,43	0-18,2
70-79	0,29 $\pm$ 0,043	7,7 $\pm$ 5,6
2n = 168	0,19-0,39	0-18,4
$\geq$ 80	0,25 $\pm$ 0,038	7,8 $\pm$ 5,9
2n = 68	0,17-0,32	0-16,1

S.D. = Standardabweichung. 2n = Anzahl der untersuchten Gefäße, n = Patientenzahl

**Tabelle 2.** Altersabhängigkeit der Summe der modifizierten Pourcelot-Indices beider Carotiden, beider Vertebralarterien (gemessen an der Atlasschleife) und aller vier hirnversorgenden Gefäße

Alter (Jahre)	Summe der modifizierten Pourcelot-Indices beider Aa. carotides internae Mittelwert ± S.D. Minimum–Maximum	Summe der modifizierten Pourcelot-Indices beider Aa. vertebrales Mittelwert ± S.D. Minimum–Maximum	Summe der modifizierten Pourcelot-Indices der vier hirnversorgenden Arterien Mittelwert ± S.D.
< 40 <i>n</i> = 58	0,81 ± 0,066 0,66–0,96	0,59 ± 0,077 0,39–0,72	1,40 ± 0,123
40–49 <i>n</i> = 56	0,78 ± 0,068 0,67–0,91	0,57 ± 0,096 0,41–0,73	1,35 ± 0,135
50–59 <i>n</i> = 68	0,72 ± 0,073 0,58–0,90	0,54 ± 0,098 0,38–0,70	1,26 ± 0,160
60–69 <i>n</i> = 66	0,70 ± 0,080 0,53–0,84	0,54 ± 0,083 0,35–0,72	1,24 ± 0,117
70–79 <i>n</i> = 56	0,57 ± 0,080 0,40–0,78	0,46 ± 0,078 0,32–0,57	1,03 ± 0,129
≥ 80 <i>n</i> = 22	0,52 ± 0,073 0,37–0,64	0,46 ± 0,069 0,39–0,59	0,98 ± 0,125

S.D. = Standardabweichung, *n* = Patientenzahl**Tabelle 3.** Unilaterale Obliterationen der A. carotis interna mit persistierenden Ophthalmica-Kollateralen: Vergleich der summierten modifizierten Pourcelot-Indices (der verbliebenen hirnversorgenden Arterien), ausgedrückt als % Reduktion gegenüber einem altersentsprechenden Normalkollektiv (s. letzte Spalte in Tabelle 2), mit dem modifizierten Pourcelot-Index des Bypass-versorgenden Astes der A. temporalis superficialis, gemessen kurz vor dem Bohrlochrand. Die aufgeführten Fälle zeigten auf der Seite des Bypass persistierende Ophthalmica-Kollateralen (A. supratrochlearis) zu jedem Untersuchungszeitpunkt. Die postoperativen Intervalle sind in Monaten angegeben

Alter (Jahre) Geschlecht	Summe aller modifizierten Pourcelot-Indices (% Reduktion gegenüber Altersnorm)/modifizierter Pourcelot-Index am Bohrlochrand						
	Praeop	Postop					
		0–1	1–2	2–4	4–8	8–12	> 24
56, m	16,7		17,5 0,60		22,2 0,54		
55, m	18,3	14,3 0,23					
61, m						20,2 0,35	28,2 0,40
61, w	25,0	24,2 0,35		21,0 0,44	23,4 0,45	29,0 0,54	
70, m					30,1 0,35		
54, m		15,1 0,12				16,7 0,46	
57, m	15,9				2,4 0,14		
51, m						15,9 0,47	
62, m	19,4					16,1 0,59	

m = männlich, w = weiblich

relative enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit ab, und zwar an den Carotiden in etwas höherem Maß als an den Vertebralarterien. Die Seitendifferenzen der modifizierten Pourcelot-Indices der Carotiden blieben unter 20% und sind wahrscheinlich auf Variationen in der Versorgung der Aa. cerebri anteriores bzw. posteriores zurückzuführen.

Die Summe der modifizierten Pourcelot-Indices aller vier hirnversorgenden Arterien diente als Grundlage, um die pro-

zentuale Reduktion der verbliebenen Gefäßquerschnitte bei den Patienten zu berechnen, die für einen EC-IC Bypass vorgesehen waren oder eine solche Operation hinter sich hatten.

#### *Unilaterale Obliterationen der A. carotis interna*

In den Tabellen 3 und 4 sind die Befunde der Patienten mit EC-IC Bypass bei einseitigem Internaverschluß zusam-

**Tabelle 4.** Unilaterale Obliterationen der A. carotis interna bei fehlenden Ophthalmica-Kollateralen: Vergleich der summierten modifizierten Pourcelot-Indices mit dem modifizierten Pourcelot-Index am Bohrlochrand, wie in Tabelle 3 erläutert. Die beiden letzten aufgeführten Fälle zeigten praoperativ auf der Verschlußseite Ophthalmica-Kollateralen (A. supratrochlearis), die jedoch postoperativ, wie bei den anderen aufgeführten Fällen, zu keinem Untersuchungszeitpunkt nachweisbar waren

Alter (Jahre) Geschlecht	Summe aller modifizierten Pourcelot-Indices (% Reduktion gegenüber Altersnorm)/modifizierter Pourcelot-Index am Bohrlochrand						
	Praeop	Postop					
		0–1	1–2	2–4	4–8	8–12	> 24
48, m	27,8	21,5 0,14	19,3 0,19			15,6 0,23	15,6 0,24
55, m	18,3	15,1 0,31		18,3 0,38		19,0 0,56	19,0 0,49
53, w	15,9					31,0 0,33	33,3 0,40
33, m						27,1 0,23	29,6 0,35
41, w		20,7 0,20			17,0 0,31		
50, m	5,6	5,6 0,15			2,4 0,19	0,0 0,15	0,0 0,11
51, m		25,4 0,36			20,6 0,44		21,4 0,39
74, m	9,7			10,8 0,41		19,4 0,36	
51, w	18,3	20,6 0,00					

mengefaßt, in Abhängigkeit davon, ob Ophthalmica-Kollateralen (A. supratrochlearis) vorhanden waren (Tabelle 3) oder nicht (Tabelle 4). Dabei zeigt sich, daß die Persistenz von Ophthalmica-Kollateralen nicht als Indikator für einen erhöhten Blutbedarf und somit für eine möglicherweise bessere Anastomosenperfusion herangezogen werden kann, wenn auch der modifizierte Pourcelot-Index, kurz vor dem Bohrlochrand gemessen, in der Gruppe mit persistierenden Ophthalmica-Kollateralen etwas höher lag ( $0,45 \pm 0,042$ , Mittelwert  $\pm$  Standardfehler des Mittelwertes) gegenüber der Gruppe mit fehlenden Ophthalmica-Kollateralen ( $0,37 \pm 0,032$ ). Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant ( $P > 0,05$ , *t*-Test). Berücksichtigt wurden dabei nur die Patienten mit einem Pourcelot-Index am Bohrlochrand von zumindest 0,20, darunter liegende Werte sprachen nicht für eine Funktionsfähigkeit, da Werte unter 0,20 bei nur muskelversorgenden Ästen gefunden wurden, z. B. der nicht anastomosierten A. temporalis superficialis.

Beim 7. Fall in Tabelle 3 und beim 6. Fall in Tabelle 4 geht die fehlende Bypass-Funktion (modifizierter Pourcelot-Index am Bohrlochrand unter 0,20) einher mit einer nur unwesentlichen Reduktion der Summe der modifizierten Pourcelot-Indices der hirnversorgenden Arterien gegenüber der Altersnorm. Lediglich beim letzten Fall in Tabelle 4 mit nicht auffindbarem Bypass-versorgenden Gefäß bereits wenige Wochen nach der Operation muß ein operativer Mißerfolg vermutet werden.

Auch der Einfluß der intermittierenden Kompression des Bypass-versorgenden Astes auf den modifizierten Pourcelot-Index der A. carotis communis dieser Seite läßt keinen Unterschied zwischen den Gruppen mit und ohne Ophthalmica-Kollateralen erkennen: wir fanden eine Reduktion um  $0,08 \pm 0,008$  ( $n = 7$ ) in der Gruppe mit persistierenden Oph-

thalmica-Kollateralen, in der Gruppe ohne fanden wir eine Reduktion um  $0,105 \pm 0,024$  ( $n = 6$ ). Nicht in allen Fällen der Tabellen 3 und 4 waren Kompressionsversuche durchgeführt worden, eingeschlossen sind auch nur die Patienten mit einem modifizierten Pourcelot-Index von zumindest 0,20 am Bohrlochrand.

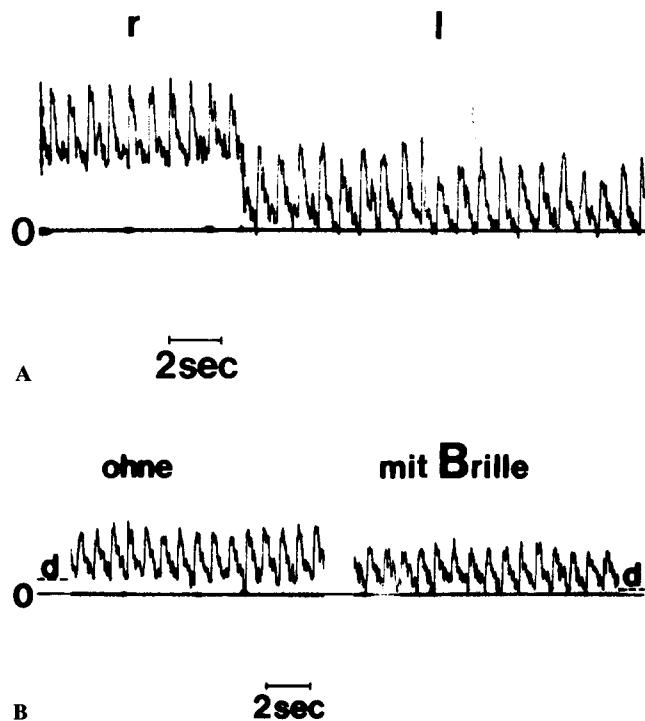
In keinem Fall normalisierte sich der modifizierte Pourcelot-Index der A. carotis communis nach Bypass-Anlage, so daß die EC-IC Anastomose nicht als vollwertiger Ersatz für eine verschlossene A. carotis interna angesehen werden kann.

Aus den Tabellen 3 und 4 geht hervor, daß eine wirksame Bypass-Perfusion mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten war, wenn die praoperativ berechnete Reduktion der modifizierten Pourcelot-Indices der verbliebenen hirnversorgenden Arterien über 10% lag, wenn auch in einem Fall dieses Kriterium nicht zutraf. Das Vorhandensein oder das Fehlen von Ophthalmica-Kollateralen konnte nicht als Parameter eingesetzt werden.

Ein Kuriosum in dieser Gruppe bleibt nachzutragen: bei einem Patienten drückte eine schwere Brille (nach Kataraktoperation) praeariculär auf die A. temporalis superficialis und reduzierte dadurch die diastolische Strömungsgeschwindigkeit, gemessen kurz vor dem Bohrlochrand (Abb. 4).

#### Bilaterale Obliterationen der A. carotis interna

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse bei den vier Patienten mit bilateraler Obliteration der A. carotis interna, die sich einer EC-IC Bypass-Operation unterzogen, wiedergegeben. Bei allen vier Patienten wurde der Bypass an der dominanten Hemisphäre angelegt. Obwohl sich die praoperativ gemessene erhebliche Reduktion der Summe aller modifizierten Pourcelot-Indices im weiteren Verlauf in drei von vier Fällen vermin-



**Abb. 4A, B.** Doppler-sonographische Befunde des letzten Falles aus Tabelle 3. Obliteration der A. carotis interna rechts mit Nachweis von Ophthalmica-Kollateralen (A. supratrochlearis). **A** Aufzeichnung der A. temporalis superficialis praeauricular; *r* = rechts, *l* = links. **B** Aufzeichnung des Bypass-versorgenden Astes der A. temporalis superficialis kurz vor dem Bohrlochrand ohne und nach Aufsetzen der Brille. Beachte dabei die Abnahme der enddiastolischen (*d*) Strömungsgeschwindigkeit. *Abszisse*: Zeit; *Ordinate*: Strömungsgeschwindigkeit

derte, waren alle Bypass-Operationen erfolgreich, gemessen am relativ hohen modifizierten Pourcelot-Index kurz vor dem Bohrlochrand (alle weit über 0,20). Die Reduktion des modifizierten Pourcelot-Indexes der A. carotis communis bei intermittierender Kompression kurz vor dem Bohrlochrand betrug  $0,08 \pm 0,016$  ( $n=4$ ). Drei der vier Patienten hatten initial Ophthalmica-Kollateralen beidseits, der vierte Patient nur einseitig. Im weiteren Verlauf hatten zwei Patienten keine nachweisbaren Ophthalmica-Kollateralen, bei zwei Patienten fanden sich diese nur einseitig nach Doppler-sonographischen Kriterien, einmal auf der Seite des Bypass und einmal kontralateral.

**Tabelle 5.** Bilaterale Obliterationen der A. carotis interna: Vergleich analog zu Tabelle 3

Alter (Jahre) Geschlecht		Summe aller modifizierten Pourcelot-Indices (% Reduktion gegenüber Altersnorm)/modifizierter Pourcelot-Index am Bohrlochrand						
		Praeop		Postop				
				0-1	1-2	2-4	4-8	> 24
56, m	37,3							38,1 0,27
42, w	55,6		40,7 0,58					
51, m	34,9						31,7 0,31	27,0 0,37
48, m	34,1	26,7 0,31		28,1 0,31	25,9 0,31			23,7 0,48

#### Distale Stenosen der A. carotis interna und supraclinoidale Obliterationen

In Tabelle 6 sind die Fälle mit distalen Stenosen und Obliterationen der A. carotis interna aufgeführt. Zwei der vier Fälle mit distalen Stenosen zeigten dabei im Verlauf postoperativ eine mangelnde oder fehlende Bypass-Funktion. Bei einem dieser zwei Fälle hatte sich allerdings der periphere Widerstand der betroffenen A. carotis interna spontan reduziert, ablesbar an der fehlenden Reduktion der Summe aller modifizierten Pourcelot-Indices im Vergleich zur Altersnorm. Auch bei den zwei Patienten mit supraclinoidalen Obliterationen erwies sich ein Bypass als insuffizient (modifizierter Pourcelot-Index kurz vor dem Bohrlochrand nur 0,14).

Bei einer Patientin, die nicht tabellarisch erfaßt ist, war angiographisch ein Aneurysma dissecans diagnostiziert worden. Vor der geplanten Direktoperation war ein EC-IC Bypass angelegt worden; da sich die Strömungsgeschwindigkeit in der A. carotis interna jedoch spontan wieder normalisierte, auch angiographisch keine erhebliche Stenose mehr nachweisbar war, hatte man letztendlich auf die Direktoperation verzichtet. Der Bypass-versorgende Ast war sonographisch zwar offen und orthograd durchströmt, die A. temporalis superficialis zeigte jedoch keine Seitendifferenz des modifizierten Pourcelot-Indexes praeauriculär.

Zwei weitere in der Tabelle 6 nicht aufgeführte Patienten mit 50%- bis unter 60%igen Carotis-Siphon-Stenosen und kontralateraler tiefer Internaobliteration gehören ebenfalls in diese Gruppe. Bei einem Fall, mit der Bypass-Operation auf der Seite der intracranialen Stenose, betrugen die Reduktion der Summe aller modifizierten Pourcelot-Indices ein Jahr nach der Operation 21,8% und der modifizierte Pourcelot-Index am Bohrlochrand 0,21. Beim zweiten Fall, mit der Operation auf der Seite der tiefen Internaobliteration, zeigte das Bypass-versorgende Gefäß keine diastolische Komponente, obwohl die Reduktion aller Indices 10,5% im Vergleich zur Altersnorm betrug.

#### Stenosen und Obliterationen der A. cerebri media

Nur bei einem Patienten mit einer ca. 60%igen Stenose im M1-Segment und bei einem Patienten mit einer Obliteration des proximalen Abschnitts der A. cerebri media wurde ein EC-IC Bypass angelegt. In beiden Fällen fand sich schon nach zwei Monaten eine gute Bypass-Funktion, ablesbar an modifizierten Pourcelot-Indices am Bohrlochrand von 0,46 bzw. 0,45. Der Kompressionsversuch erbrachte eine Reduktion des

**Tabelle 6.** Distale Stenosen der A. carotis interna und supraclinoidale Obliterationen: Vergleich analog zu Tabelle 3

Alter (Jahre) Geschlecht	Stenosegrad (angiographisch)	Summe aller modifizierten Pourcelot-Indices (% Reduktion gegenüber Altersnorm)/ modifizierter Pourcelot-Index am Bohrlochrand							
		Praeop	Postop	0–1	1–2	2–4	4–8	8–12	12–24
72, m	80% Siphonstenose prox. der A. ophthalm.	17,7						9,7 0,26	
33, m	70% Siphonstenose prox. der A. ophthalm.	9,3					0,0 0,00	0,0 0,00	
54, w	80% Siphonstenose prox. der A. ophthalm.							12,1 0,16	
61, m	80% Siphonstenose distal der A. ophthalm.	9,7	9,7 0,16				8,9 0,25		8,9 0,31
68, w	supraclinoid. Obliteration	22,6	16,9 0,10					15,3 0,14	
53, m	supraclinoid. Obliteration	16,7					10,3 0,26	12,7 0,28	10,3 0,37

modifizierten Pourcelot-Indexes der A. carotis communis von 0,11, der zweite Fall wurde diesbezüglich nicht untersucht. Bei beiden Patienten waren praeoperativ Doppler-sonographische Normalbefunde erhoben worden, da die Seitendifferenzen in den Aa. carotides communes bzw. internae maximal 21% betragen und somit knapp oberhalb des Normbereiches lagen. Angiographisch hatten sich bei dem Fall mit der Obliteration der A. cerebri media leptomeningeale Anastomosen aus der A. cerebri anterior gezeigt, die wahrscheinlich das Fehlen massiver Seitendifferenzen erklären.

## Diskussion

Obwohl für EC-IC Bypass-Operationen [4] der eindeutige Nachweis der Prävention eines Hirninfarktes noch aussteht [1, 12], werden infolge sukzessiver Verbesserungen der Operationstechniken immer mehr Bypass-Operationen ausgeführt, um arterielle Obstruktionen der A. carotis interna im Halsbereich oder Stenosen und Verschlüsse in ihrem distalen Gefäßbett zu überbrücken.

Angesichts dieser Entwicklung ist zum einen eine sinnvolle Patientenauswahl notwendig, zum anderen benötigt man eine nicht-invasive Methode, um die Bypass-Funktion zu überprüfen. Hinsichtlich der Funktionsprüfung wurde neben der Angiographie und der Xe-Clearance [5] auch vermehrt die Doppler-Sonographie herangezogen [3, 6, 7]. Wir haben in der vorliegenden Studie gezeigt, daß man Doppler-sonographisch nicht nur die Bypass-Funktion überprüfen, sondern auch praeoperativ mittels dieser Methode einen Parameter zur Patientenselektion berechnen kann. Der modifizierte Pourcelot-Index des Bypass-versorgenden Gefäßes am Bohrlochrand bzw. praeariculär und der Einfluß der Kompression dieses Gefäßes auf den modifizierten Pourcelot-Index der ipsilateralen A. carotis communis sind Parameter, die über den diastolischen Strömungsanteil der A. temporalis superficialis und den Anteil des Bypass-versorgenden Gefäßes am Strömungsvolumen der A. carotis communis Auskunft geben. Dabei liegt die Untergrenze der Funktionsfähigkeit bei einem modifizierten Pourcelot-Index von 0,20 am Bohrlochrand, wie allgemein bei hirnversorgenden Gefäßen. Darunter liegende Werte sind ty-

pisch für extracraniale, muskelversorgende Gefäße und wurden regelmäßig an der nicht anastomosierten A. temporalis superficialis gefunden. In den meisten Fällen wurden auch wesentlich höhere Indices am Bohrlochrand gemessen.

Die Summe aller modifizierten Pourcelot-Indices der verbliebenen hirnversorgenden Gefäße im Vergleich zu einem altersentsprechenden Normalkollektiv kann – zumindest bei Obliterationen der A. carotis interna – als Indikator für die wahrscheinliche postoperative Funktionsfähigkeit des geplanten Bypass herangezogen werden. Bis auf einen Fall zeigten alle Patienten mit einer zumindest 10%igen Reduktion dieses summierten Indexes postoperativ einen funktionierenden Bypass, wenn auch in keinem Fall einer Internaobliteration der modifizierte Pourcelot-Index der A. carotis communis auf der Verschlußseite nach der Bypass-Operation den gleichen Wert wie die gesunde Seite erreichte. Der eine Patient mit einer praeoperativ geringeren Reduktion des summierten Indexes zeigte postoperativ entsprechend keine Funktionsfähigkeit des Bypass, bei einem weiteren Fall normalisierte sich der summierte Index spontan, parallel zu einer fehlenden Bypass-Funktion.

Das Vorhandensein oder das Fehlen von Ophthalmica-Kollateralen bei einseitiger Obliteration der A. carotis interna war jedenfalls nicht als Indikator für die zu erwartende Bypass-Funktion zu gebrauchen, da in den beiden genannten Untergruppen kein Unterschied hinsichtlich der Wirksamkeit feststellbar war.

Bei allen vier Patienten mit doppelseitiger Obliteration der A. carotis interna fanden wir postoperativ eine gute Anastomosenfunktion, parallel dazu war der summierte Index im Vergleich zum Normalkollektiv auch in allen Fällen praeoperativ erheblich reduziert. Im Falle von intracranialen Carotiststenosen war postoperativ nur dann eine Funktionsfähigkeit gegeben, wenn die Seitendifferenzen hinsichtlich des Internaflusses persistierten; bei zwei Fällen mit initial hochgradigen intracranialen Stenosen reduzierten sich die Seitendifferenzen im Internafluß (modifizierter Pourcelot-Index am Kieferrwinkel) spontan, parallel dazu fand sich keine wesentliche Bypass-Funktion.

Aus unseren Erfahrungen heraus erscheint es lohnend, auch prospektiv zu überprüfen, inwieweit das Kriterium der Reduktion des summierten Indexes eine Voraussage bezüg-

lich der späteren Funktionstüchtigkeit eines geplanten Bypass erlaubt.

**Danksagung.** Wir sind Frau M. Stegmaier zu Dank verpflichtet für ihre Sorgfalt bei den Doppler-sonographischen Ableitungen, Frau G. Bontzol, Frau H. Münch und Frau S. Hammer danken wir für die unermüdliche Hilfe bei den Angiographien, und Herrn und Frau Bontzol für die Qualität ihrer photographischen Arbeiten.

## Literatur

1. Barnett HJM, Peerless SJ (1981) Collaborative EC/IC bypass study: The rationale and a progress report. In: Moossy J, Reinmuth OM (eds) Cerebrovascular disease. Raven Press, New York, pp 271–288
2. Biedert S, Winter R, Betz H, Reuther R (1985) Die Doppler-Sonographie bei intracranialen Zirkulationsstörungen der A. carotis interna. Eine Doppler-sonographisch-angiographische Vergleichsuntersuchung. Eur Arch Psychiatr Neurol Sci 234:378–389
3. Büdingen HJ, Reutern GM von, Freund HJ (1982) Doppler-Sonographie der extracranialen Hirnarterien. Thieme, Stuttgart
4. Donaghay RMP, Yasargil MG (1967) Microvascular surgery. Thieme, Stuttgart, pp 86–126
5. Gratzl O, Schmiedek P, Spetzler R, Steinhoff H, Marguth F (1976) Clinical experience with extra-intracranial arterial anastomoses in 65 cases. J Neurosurg 44:313–324
6. Hopman H, Gratzl O, Schmiedek P, Schneider I (1976) Doppler-Sonographie bei mikrovaskulärem Bypass. Neurochirurgia 19: 190–196
7. Müller HR, Gratzl O (1979) Ultrasonic monitoring of superficial temporal artery blood flow in EC/IC bypass operations. In: Meyer JS, Lechner H, Reivich R (eds) Cerebral vascular disease, vol 2. Excerpta Medica, Amsterdam, pp 235–240
8. 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 Psychiat Nervenkr 222:191–207
9. Reutern GM von, Büdingen HJ, Freund HJ (1976) Doppler-sonographische Diagnostik von Stenosen und Verschlüssen der Vertebralarterien und des Subclavian-Steal-Syndroms. Arch Psychiat Nervenkr 222:209–222
10. Reutern GM von, Voigt K, Ortega-Suhrkamp E, Büdingen HJ (1977) Dopplersonographische Befunde bei intrakraniellen vaskulären Störungen. Arch Psychiat Nervenkr 223:181–196
11. Ringelstein EB, Zeumer H (1982) The role of continuous-wave Doppler sonography in the diagnosis and management of basilar and vertebral artery occlusions, with special reference to its application during local fibrinolysis. J Neurol 228:161–170
12. Toole JF (1984) Cerebrovascular disorders, chapt 8, Surgical management of transient ischemic attacks. Raven Press, New York, pp 125–136
13. Winter R, Biedert S, Reuther R (1984) Das Doppler-Sonogramm bei Basilaristhrombosen. Eur Arch Psychiatr Neurol Sci 234:64–68

Eingegangen am 25. August 1985

## Nachtrag bei der Korrektur

Nach Drucklegung der Arbeit sind die negativen Ergebnisse der internationalen randomisierten Studie hinsichtlich der Prävention ischämischer Hirninfarkte durch einen EC-IC Bypass veröffentlicht worden (N Engl J Med 313:1191–1200, 1985). Eines der Hauptkriterien in der Gruppe der operierten Patienten ist die Funktionsfähigkeit der Anastomose, die in der o. g. Studie lediglich als angiographisch nachgewiesenes Offenbleiben des Bypass definiert ist. Mit dieser Definition sind natürlich keine Aussagen über das durch den Bypass fließende Blutvolumen beziehungsweise das Ausmaß des dadurch versorgten Gefäßbettes möglich. Hinsichtlich dieser Fragestellung ist unserer Ansicht nach die Doppler-sonographische Beurteilung der Angiographie überlegen.