

# Die Doppler-sonographische Diagnose von Basilarisstenosen und -obliterationen

Stefan Biedert, Heribert Betz und Roland Reuther

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

## The Doppler-Sonographic Diagnosis of Basilar Artery Stenoses and Occlusions

**Summary.** We have examined 10,162 patients during the past 5 years using directional continuous-wave Doppler sonography of the vertebral arteries. On the basis of 1,989 retrograde brachial angiograms, we have developed sonographic criteria for demonstrating a significant increase in the peripheral resistance of both distal vertebral arteries and/or the basilar artery. All 11 cases of basilar artery stenosis of at least 60% reduction in lumen diameter (as shown by angiography) exhibited an approximately 40% or higher reduction in the sum of the modified Pourcelot indices of both vertebral arteries in comparison with age-matched controls. The 3 stenoses below 60% reduction in lumen diameter were not detected by sonography. Even a good collateral circulation through rete-mirabile anastomoses did not normalize the modified Pourcelot indices. One case of persistent primitive trigeminal artery with thin-calibred vertebral arteries was also detected by sonography. The high percentage of patients with one hypoplastic vertebral artery in the group of basilar artery stenoses indicates an increased risk for atherosclerosis of the basilar and/or the distal vertebral artery in these patients. All 14 angiographically verified occlusions of the basilar artery were detected by sonographic criteria independent of the occlusive localization. Thus, we believe that directional continuous-wave Doppler sonography is a reliable technique for detecting basilar artery stenoses of at least 60% reduction in lumen diameter and basilar artery occlusions.

**Key words:** Doppler sonography – Basilar artery stenosis – Basilar artery occlusion – Trigeminal artery, primitive persistent

**Zusammenfassung.** Wir haben 10162 Patienten innerhalb der letzten fünf Jahre mit der directionsellen Doppler-Sonographie der Vertebralarterien untersucht und im Vergleich mit 1989 retrograden Brachialisarteriographien sonographische Kriterien für den Nachweis einer wesentlichen Widerstandserhöhung im peripheren Gefäßbett beider Vertebralarterien bzw. der A. basilaris entwickelt. Alle 11 Basilarisstenosen von mehr als 60% Lumenreduktion (angiographisch) zeigten unabhängig von ihrer Lokalisation stets eine ca. 40%ige oder

höhere Reduktion der Summe der modifizierten Pourcelot-Indices beider Vertebralarterien im Vergleich zu altersentsprechenden Normalwerten. Die 3 Stenosen unter 60% Reduktion des Lumendurchmessers waren sonographisch nicht erfaßbar. Selbst die Ausbildung eines Rete mirabile konnte den peripheren Widerstandsindex nicht normalisieren; auch beidseits kaliberschwache Vertebralarterien im Fall einer A. trigemina primitiva persistens waren sonographisch vorher-sagbar. Der hohe Anteil an Patienten mit einseitiger Vertebralarhypoplasie in der Gruppe der Basilarisstenosen weist auf ein höheres Risiko dieser Patientengruppe für arteriosklerotische Veränderungen an der A. basilaris bzw. der distalen A. vertebralis hin. Alle 14 angiographisch verifizierten Basilarisobliterationen waren – unabhängig von ihrer Lokalisation – mit den genannten Kriterien Doppler-sonographisch erfaßbar. Wir nehmen daher an, daß die directionselle Doppler-Sonographie der Vertebralarterien eine sensitive Methode zur Erkennung von Basilarisstenosen mit zumindest 60%iger Reduktion des Lumendurchmessers bzw. von Basilarisobliterationen darstellt.

**Schlüsselwörter:** Doppler-Sonographie – Basilarisstenosen – Basilarisobliterationen – A. trigemina primitiva persistens

## Einleitung

Die directionselle Doppler-Sonographie der extracraniellen Abschnitte der Carotiden ist mittlerweile als Standardmethode etabliert [3, 10]. Auch hochgradige intracranielle Stenosen im Carotisstromgebiet können mittels dieser Technik vorhergesagt werden [2, 9, 12]. In einer früheren Arbeit [18] hatten wir bereits auf die Möglichkeit hingewiesen, mittels Doppler-Strompulscurven auf eine schwerwiegende Zirkulationsstörung beider distaler Vertebralarterien oder der proximalen A. basilaris zu schließen. In der vorliegenden Studie haben wir untersucht, zu welchen Veränderungen des extracraniellen Doppler-Sonogramms der Vertebralarterien Stenosen und Obliterationen im gesamten Verlauf der A. basilaris bzw. in beiden distalen Aa. vertebrales führen.

## 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 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 [3, 10, 11] ausgearbeitete Doppler-Sonographie der Vertebralarterien wurde von unserer Klinik in den wesentlichen Punkten übernommen, wie an anderer Stelle dargestellt [18].

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 zu einer Abnahme der diastolischen früher 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 der Vertebralarterien durch Stropmpulsregistrierung an der Atlasschleife beidseits berechnet und die Summe beider Indices gebildet, da die Vertebralarterien über die A. basilaris als funktionelle Einheit zu sehen sind.

Der Angiographie, die in allen hier erfaßten Fällen – außer bei vier als Basilarisobliteration sonographisch beur-

teilten und gesondert aufgeführten Patienten – durchgeführt wurde, ging immer eine Doppler-sonographische Beurteilung voraus; die letzte Entscheidung zur Angiographie basierte jedoch auf der klinischen Symptomatik. Insgesamt wurden 1989 retrograde Brachialisarteriographien im selben Zeitraum durchgeführt. Die linksseitige Carotisarteriographie wurde bei Basilarisobliterationen zusätzlich eingesetzt, um das Ausmaß der Thrombose zu beurteilen, wenn sich die rechte A. communicans post. über die rechte Brachialisarteriographie nicht dargestellt hatte.

Die Einteilung der Lokalisation der Stenosen bzw. Obliterationen der A. basilaris erfolgte nach der Methode von Archer und Horenstein [1]: das proximale Drittel zwischen der Vereinigung der Vertebralarterien und dem Abgang der unteren vorderen Kleinhirnarterien (AICA), das mittlere Drittel bis zu den oberen Kleinhirnarterien, und das rostrale (distale) Drittel bis zum Ursprung der Aa. cerebri posteriores. Die angiographische Beurteilung des Stenosegrades erfolgte auf der Basis des Lumendurchmessers, d. h. mittels linearer Messung. Infolge von Überlagerungen waren Basilarisstenosen in einigen Fällen nur in einer Ebene sichtbar, in den übrigen Fällen bezieht sich der angegebene Stenosegrad auf den Mittelwert aus zwei Ebenen.

## Ergebnisse

Die 29 Fälle des Untersuchungszeitraumes mit Stenosen oder Verschlüssen beider distaler Vertebralarterien oder der A. basilaris werden vorgestellt; die Verifizierung erfolgte angiographisch bzw. Doppler-sonographisch und angiographisch. Bei weiteren vier Fällen mit der sonographischen Verdachtsdiagnose einer Basilarisobliteration unterblieb die Angiographie unter klinischen Gesichtspunkten; alle anderen Patienten wurden wegen ihrer klinischen Symptomatik auch angiogra-

**Tabelle 1.** Altersabhängigkeit des modifizierten Pourcelot-Indexes bzw. der Summe der Indices beider Vertebralarterien. Der modifizierte Pourcelot-Index stellt das Verhältnis der enddiastolischen zur maximalen Strömungsgeschwindigkeit dar

Alter (Jahre)	Modifizierter Pourcelot-Index A. vertebralis	Seitendifferenz der Indices (in % des höheren Wertes)	Summe der modifizierten Pourcelot-Indices beider Aa. vertebrales
	Mittelwert $\pm$ S.D. Minimum – Maximum	Mittelwert $\pm$ S.D. Minimum – Maximum	Mittelwert $\pm$ S.D. Minimum – Maximum
< 40	0,29 $\pm$ 0,062	20,5 $\pm$ 15,5	0,59 $\pm$ 0,077
2n = 116	0,17 – 0,46	0 – 53,7	0,39 – 0,72
40 – 49	0,28 $\pm$ 0,062	20,8 $\pm$ 12,2	0,57 $\pm$ 0,096
2n = 112	0,17 – 0,46	0 – 48,5	0,41 – 0,73
50 – 59	0,27 $\pm$ 0,071	27,5 $\pm$ 18,1	0,54 $\pm$ 0,098
2n = 136	0,12 – 0,40	0 – 64,1	0,38 – 0,70
60 – 69	0,27 $\pm$ 0,070	28,7 $\pm$ 17,3	0,54 $\pm$ 0,083
2n = 132	0,11 – 0,41	2,9 – 67,6	0,35 – 0,72
70 – 79	0,23 $\pm$ 0,065	30,0 $\pm$ 17,5	0,46 $\pm$ 0,078
2n = 112	0,10 – 0,38	0 – 58,3	0,32 – 0,57
$\geq$ 80	0,23 $\pm$ 0,059	27,1 $\pm$ 16,3	0,46 $\pm$ 0,069
2n = 44	0,13 – 0,37	5,0 – 55,2	0,39 – 0,59

S.D. = Standardabweichung. 2n = Anzahl der Vertebralarterien

**Tabelle 2.** Altersabhängigkeit des modifizierten Pourcelot-Indexes der nicht hypoplastischen Vertebralarterie bei unilateraler Vertebralis-hypoplasie

Alter (Jahre)	Modifizierter Pourcelot-Index A. vertebralis Mittelwert $\pm$ S.D. Minimum – Maximum
< 40	0,37 $\pm$ 0,033
n = 14	0,32 – 0,41
40 – 49	0,36 $\pm$ 0,028
n = 15	0,32 – 0,41
50 – 59	0,34 $\pm$ 0,029
n = 20	0,29 – 0,39
60 – 69	0,33 $\pm$ 0,035
n = 22	0,28 – 0,40
70 – 79	0,30 $\pm$ 0,037
n = 28	0,24 – 0,37
$\geq$ 80	0,30 $\pm$ 0,020
n = 12	0,27 – 0,32

n = Patientenzahl

phiert. 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.

#### Normalkollektiv

Der modifizierte Pourcelot-Index der Vertebralarterien und die Summe der Indices beider Vertebralarterien (als funktionelle Einheit) wurden bei insgesamt 326 Patienten ohne manifestes neurologisches Defizit ermittelt und nach Altersgruppen klassifiziert. Etwa die Hälfte dieser Patienten 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 Jahre ist der prozentuale Anteil an angiographischen Kontrollen geringer: die Indikation zur Doppler-Sonographie beinhaltete in diesen Fällen das Vorliegen unspezifischer Symptome wie Schwindel oder Tinnitus, die

**Tabelle 3.** Angiographisch-Doppler-sonographischer Vergleich bei angiographisch nachgewiesenen Basilarisstenosen

Stenosegrad (angiographisch)	Alter (Jahre), Geschlecht	Modifizierter Pourcelot-Index A. vertebralis rechts/links	% Reduktion gegenüber Altersnorm	Angiographischer Befund
50%–59%	54, m	0,00 0,32	5,9	Stenose im mittleren Drittel, Hypoplasie rechts
	48, m	0,26 0,23	14,0	Stenose im proximalen Drittel
	59, m	0,33 0,00	2,9	Stenose im proximalen Drittel, Hypoplasie links
60%–69%	61, m	0,00 0,20	39,4 <sup>b</sup>	Stenose im proximalen Drittel, Hypoplasie rechts
	71, w	0,10 0,10	56,5 <sup>b</sup>	Stenose im proximalen Drittel, Hypoplasie links
	57, m	0,00 0,16	52,9 <sup>b</sup>	Stenose im proximalen Drittel, Hypoplasie rechts
$\geq$ 70%	62, m	0,00 0,13	60,6 <sup>b</sup>	Stenose im proximalen Drittel, Hypoplasie rechts, hochgradige Internaabgangsstenosen bds.
	69, m	0,00 0,12	63,6 <sup>b</sup>	Stenose im proximalen Drittel, Hypoplasie rechts, Internaverschluß rechts
	63, m	0,13 0,13	51,9 <sup>b</sup>	Stenose im proximalen Drittel, Hypoplasie rechts mit beginnendem Rete mirabile
	47, m	0,00 0,00	100 <sup>b</sup>	Auf ganzer Strecke filiforme A. basilaris, klinisch M. Winiwarter-Bürger
	79, m	0,08 0,00	73,3 <sup>b</sup>	Stenose im mittleren Drittel, Hypoplasie links, 80%ige Siphonstenose rechts
	63, w	0,12 0,00	63,6 <sup>b</sup>	Stenose im proximalen Drittel, Hypoplasie links
	57, m	0,15 0,15	44,4 <sup>a</sup>	Stenose im mittleren Drittel, Rete mirabile bds., Internaobliteration bds.
	76, w	0,00 0,12	60,0 <sup>b</sup>	Stenose im proximalen Drittel, Hypoplasie rechts

<sup>a</sup> Reduktion der Summe der modifizierten Pourcelot-Indices um mehr als 2

<sup>b</sup> Um mehr als 3 Standardabweichungen vom Mittelwert des altersentsprechenden Normalkollektivs. Bei einseitigem Wert des modifizierten Pourcelot-Indexes von 0,00 wurden die Werte aus Tabelle 2 als Normalkollektiv herangezogen

m = männlich, w = weiblich

Frage nach einem Angiom bei Migränepatienten oder nach extracraniellen Stenosen bei bekannten Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes mellitus oder primärer Hyperlipidämie, ohne daß es in der Anamnese oder im Befund Hinweise für TIA bzw. abgelaufene Infarkte gab.

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen nach Altersklassen aufgelistet. Mit zunehmendem Alter nimmt dabei die relative enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit ab. Der modifizierte Pourcelot-Index einer Vertebralarterie unterschritt nicht den Wert von 0,10 – erst bei darunterliegenden Werten gingen wir von einer hypoplastischen A. vertebralis aus.

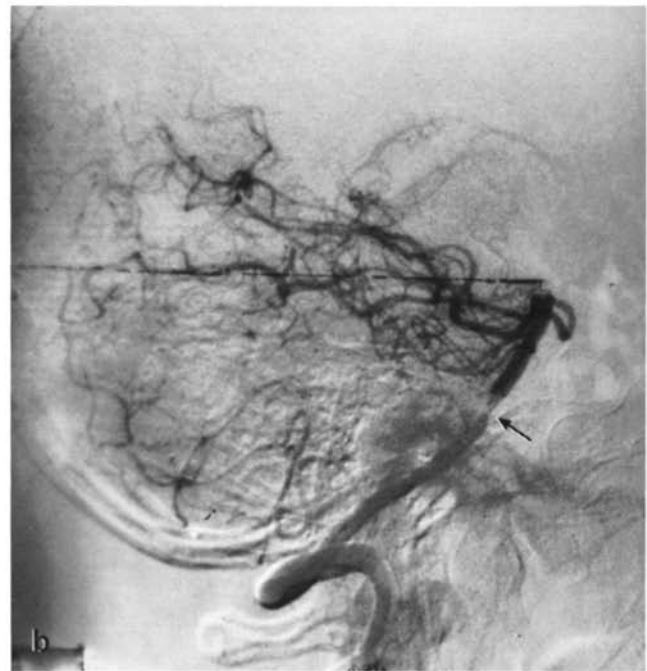
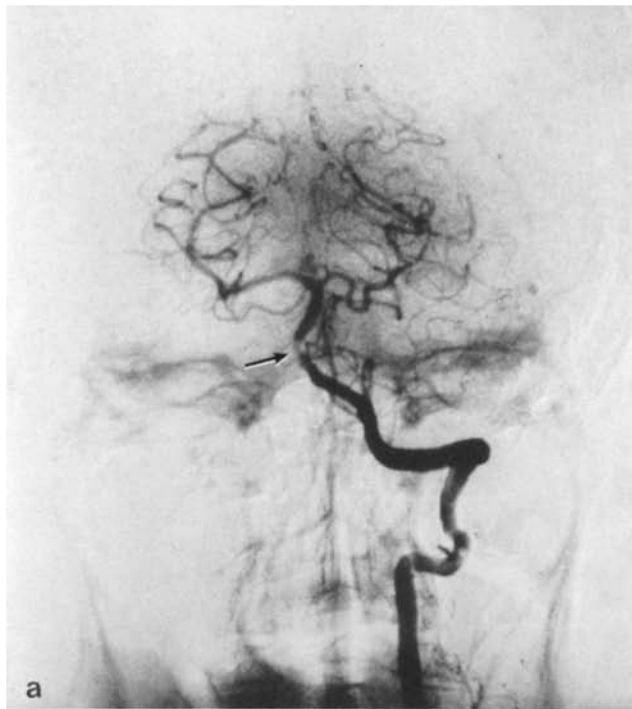
In Tabelle 2 sind die entsprechenden Werte bei einseitiger Vertebralishypoplasie aufgeführt. Auch hier wurde etwa bei der Hälfte der Patienten auf der Seite der Hypoplasie eine Brachialisarteriographie aus o.g. Indikationen durchgeführt, ebenfalls ohne den Nachweis wesentlicher Stenosierungen. Die A. vertebralis versorgte in diesen Fällen vorwiegend oder ausschließlich die A. cerebelli inf. post. (PICA). In allen als Hypoplasie charakterisierten Fällen betrug der modifizierte Pourcelot-Index 0,00 bis maximal 0,05. Es ist ablesbar, daß die verbleibende kaliberkräftigere A. vertebralis nicht den gleichen Wert hinsichtlich des modifizierten Pourcelot-In-

dexes (Tabelle 2) erreicht wie die Summe beider Indices bei nicht hypoplastischen Vertebralarterien.

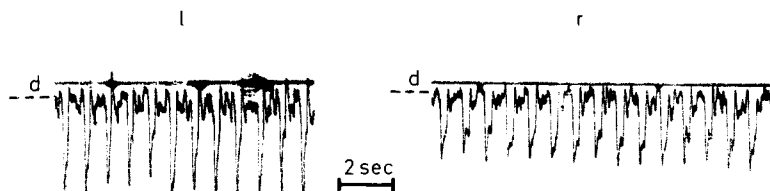
Bei den in Tabelle 1 aufgeführten Fällen (d. h. unter Ausschluß hypoplastischer Vertebralarterien) ergaben sich in 20% seitengleiche modifizierte Pourcelot-Indices (Seitenunterschied unter 10%), bei 28% überwog der relative enddiastolische Fluß der rechten A. vertebralis den der linken (modifizierte Pourcelot-Indices mit Seitenunterschieden von 10% und mehr), bei 52% überwog die linke A. vertebralis die rechte um zumindest 10%. Bei den 111 Fällen mit einseitiger Vertebralishypoplasie (Tabelle 2) war in 57% die rechte und in 43% die linke A. vertebralis hypoplastisch.

#### Basilarisstenosen

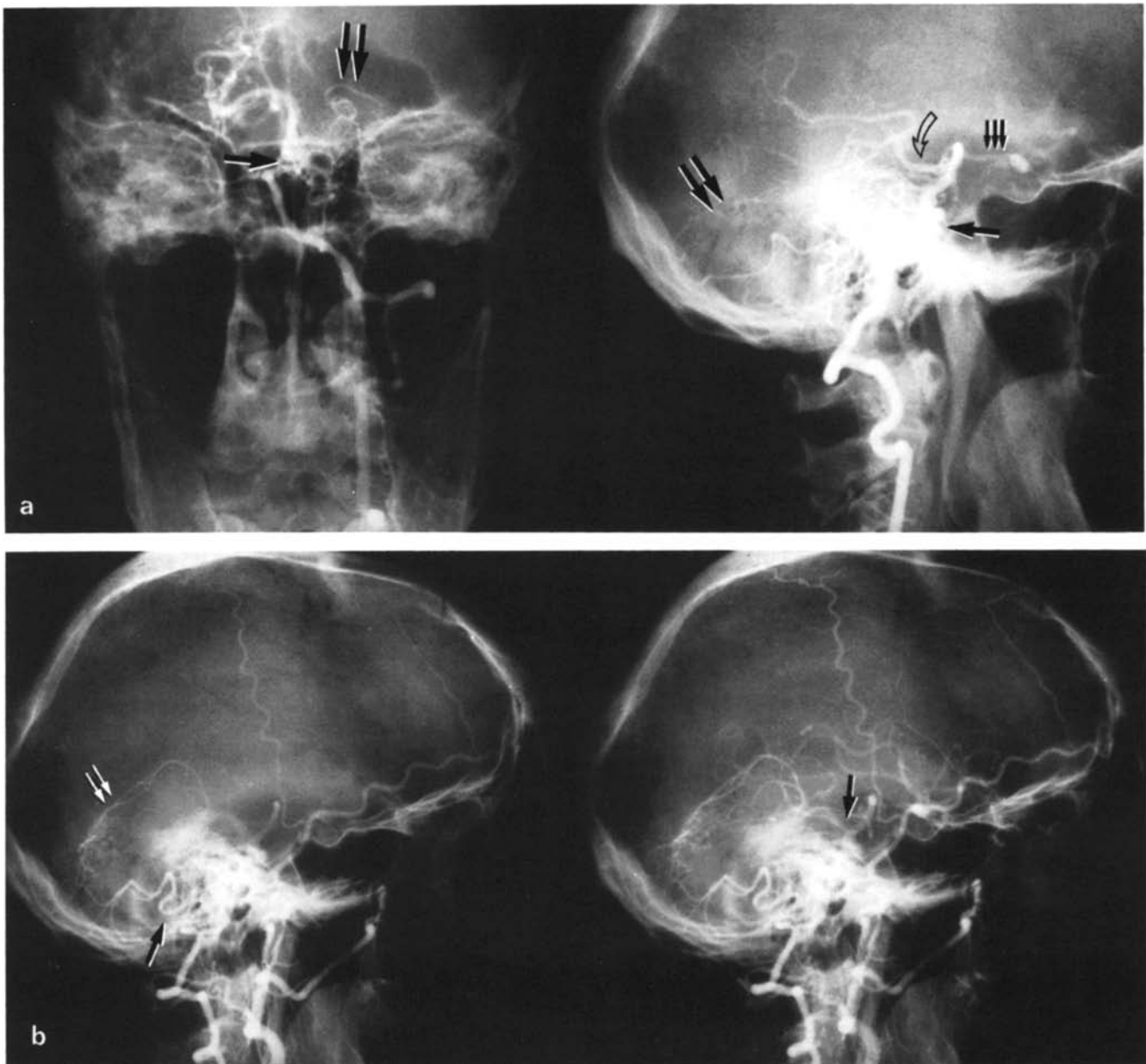
In Tabelle 3 sind die Befunde bei den 14 im Untersuchungszeitraum angiographisch nachgewiesenen Basilarisstenosen aufgeführt, aufgeschlüsselt nach ihrem Stenosegrad. Das Ausmaß der Reduktion der Summe der modifizierten Pourcelot-Indices wurde im Vergleich zur Altersnorm ermittelt. Dabei dienten die Werte aus Tabelle 1 als Grundlage, solange der modifizierte Pourcelot-Index einer Vertebralarterie den Wert



**Abb. 1a,b.** Retrograde Brachialisarteriographie links (Subtraktionsaufnahmen) im Falle einer über 70%igen Basilarisstenose. In sagittaler Projektion **a** ist die hochgradige Stenose (*Pfeil*) unmittelbar proximal des Abgangs der rechten AICA zu erkennen. **b** Seitliche Projektion der Stenose (*Pfeil*). Rechts Vertebralishypoplasie mit PICA als Endast (nicht abgebildet)



**Abb. 2.** Doppler-sonographischer Befund der Vertebralarterien des 9. Falles aus Tabelle 3. Durchgezogene Linie = 0, Abszisse: Zeit, Ordinate: Strömungsgeschwindigkeit. *d* = enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit. *l* = links, *r* = rechts



**Abb. 3a–d.** Retrograde Brachialisarteriographien beiderseits im Falle einer hochgradigen Basilarisstenose und gleichzeitiger Internaobliteration bds. (letzter Fall aus Tabelle 3). **a** Im Brachialisarteriogramm links sind in beiden Projektionen die Basilarisstenose (*Pfeil*) und das Rete mirabile zwischen PICA und A. cerebelli sup. (2 *Pfeile*) zu erkennen. Über die A. communicans post. rechts (3 *Pfeile*) wird die rechte Mediagruppe schwach gefüllt. Die A. basilaris endet in der A. cerebri post. rechts (*offener, gebogener Pfeil*). **b** Im rechten Brachialisarteriogramm ist die retrograde Füllung der A. cerebelli sup. (2 *Pfeile*) aus der PICA (*Pfeil links*) dargestellt; der proximale Abschnitt der A. cerebelli sup. wird erst später gefüllt (*Pfeil rechts*). In der Schrägprojektion **c** ist die Basilarisstenose gut abgrenzbar (*Pfeil*), daneben auch hier das Rete mirabile (2 *Pfeile*). Die sagittale Projektion **d** dokumentiert das Rete mirabile bds. (1 *Pfeil*: links, 2 *Pfeile*: rechts)

von 0,10 nicht unterschritt. Bei den Fällen mit einem einseitigen Wert von 0,00 wurden die Ergebnisse aus Tabelle 2 herangezogen.

Danach ist ablesbar, daß Stenosen mit einer Reduktion des Lumendurchmessers um weniger als 60% nicht durch die Summe der modifizierten Pourcelot-Indices der Vertebralarterien identifizierbar sind. Stenosen ab 60% (Abb. 1) zeigten durchwegs eine ca. 40%ige oder höhere Reduktion der summierten modifizierten Pourcelot-Indices beider Vertebralarterien, wobei die gefundenen Werte mindestens zwei bzw. drei Standardabweichungen unterhalb des Mittelwertes im Vergleich zur Altersnorm lagen (Tabelle 3).

In einzelnen Fällen angiographisch nachgewiesener Hypoplasien fanden wir einen modifizierten Pourcelot-Index über 0,10 (Abb. 2); angiographisch zeigte sich in diesen Fällen ein Rete mirabile (Abb. 3), das den geringeren peripheren Gefäßwiderstand erklärt.

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß 11 der 14 Fälle mit Basilarisstenosen eine einseitige Vertebralishypoplasie aufwiesen; die Angiographie zeigte in 10 der 11 Fälle keine Verbindung der hypoplastischen A. vertebralis zur A. basilaris, sondern die A. vertebralis endete in der PICA.

Ein Fall einer A. trigemina primitiva persistens (Typ I nach Saltzman [16] und Lie [7]) mit kaliberschwachen Aa. vertebrales

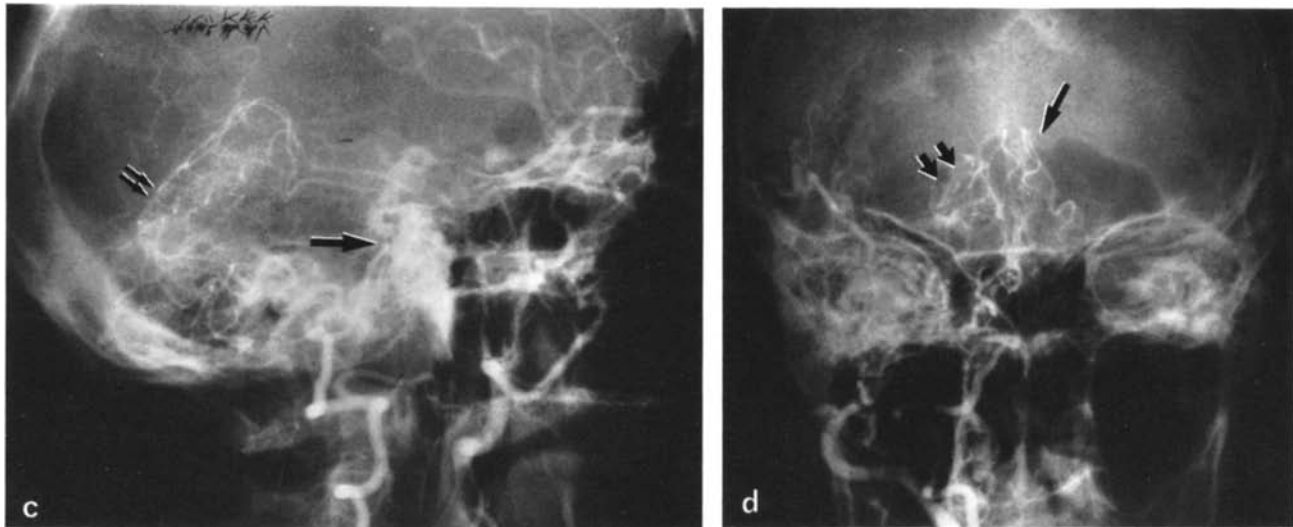


Abb. 3c, d

bzw. basilaris (Abb. 4) fällt ebenfalls in diese Gruppe: der modifizierte Pourcelot-Index betrug in diesem Fall 0,07 (rechts) und 0,14 (links) und lag damit mehr als drei Standardabweichungen unterhalb des altersentsprechenden Normwertes.

#### Basilarisobliterationen

In Tabelle 4 sind die Befunde bei Basilarisobliterationen, aufgeschlüsselt nach ihrer Lokalisation, aufgeführt. Alle Obliterationen beider distaler Vertebralarterien bzw. des kaudalen Drittels der A. basilaris zeigten einen modifizierten Pourcelot-Index von 0,00 auf beiden Seiten (Abb. 5). Die Fälle mit beidseits nicht auffindbaren Vertebralarterien datieren in die Anfangszeit des Untersuchungszeitraumes.

Eine Basilarisobliteration am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel zeigte in beiden Vertebralarterien noch eine diastolische Flußkomponente (letzter Fall in Tabelle 4), jedoch lag der summierte Wert mehr als drei Standardabweichungen unterhalb des Mittelwertes des entsprechenden Altersnormwertes.

Soweit Verlaufskontrollen über die aufgeführten Fälle vorliegen, zeigen diese in keinem Fall eine Normalisierung der modifizierten Pourcelot-Indices (Tabelle 4).

Vier Patienten mit der Doppler-sonographischen Verdachtsdiagnose einer Basilarisobliteration bzw. einer hochgradigen Stenose wurden nicht angiographiert (Tabelle 5). Der erste der aufgeführten Fälle hatte zum Zeitpunkt der Untersuchung nur eine leichte Hemiparese; wegen bestehender Kontraindikation zur Antikoagulation (als möglicher Behandlung) unterblieb die Angiographie. Der zweite Patient hatte ein Alternans-Syndrom und war wegen seines schlechten Allgemeinzustandes nicht invasiv untersucht worden. Immerhin bildete sich die klinische Symptomatik unter 30 000 I.E. Heparin/die für zehn Tage weitgehend zurück. Beim dritten Fall lag eine Metastasierung eines Mamma-Carcinoms vor, so daß wegen der reduzierten Lebenserwartung bei nur blander neurologischer Symptomatik eine invasive Diagnostik unterblieb. Beim vierten Fall war ein Jahr vor der Doppler-sonographischen Diagnose einer Basilarisobliteration aus Anlaß mehrerer Attacken von Hemiballismus schon einmal eine Sonographie veranlaßt worden: retrospektiv muß aus der ersten Sonographie (Abb. 6) aufgrund der reduzierten Pourcelot-Indices

auf eine Basilarisstenose zum damaligen Zeitpunkt geschlossen werden.

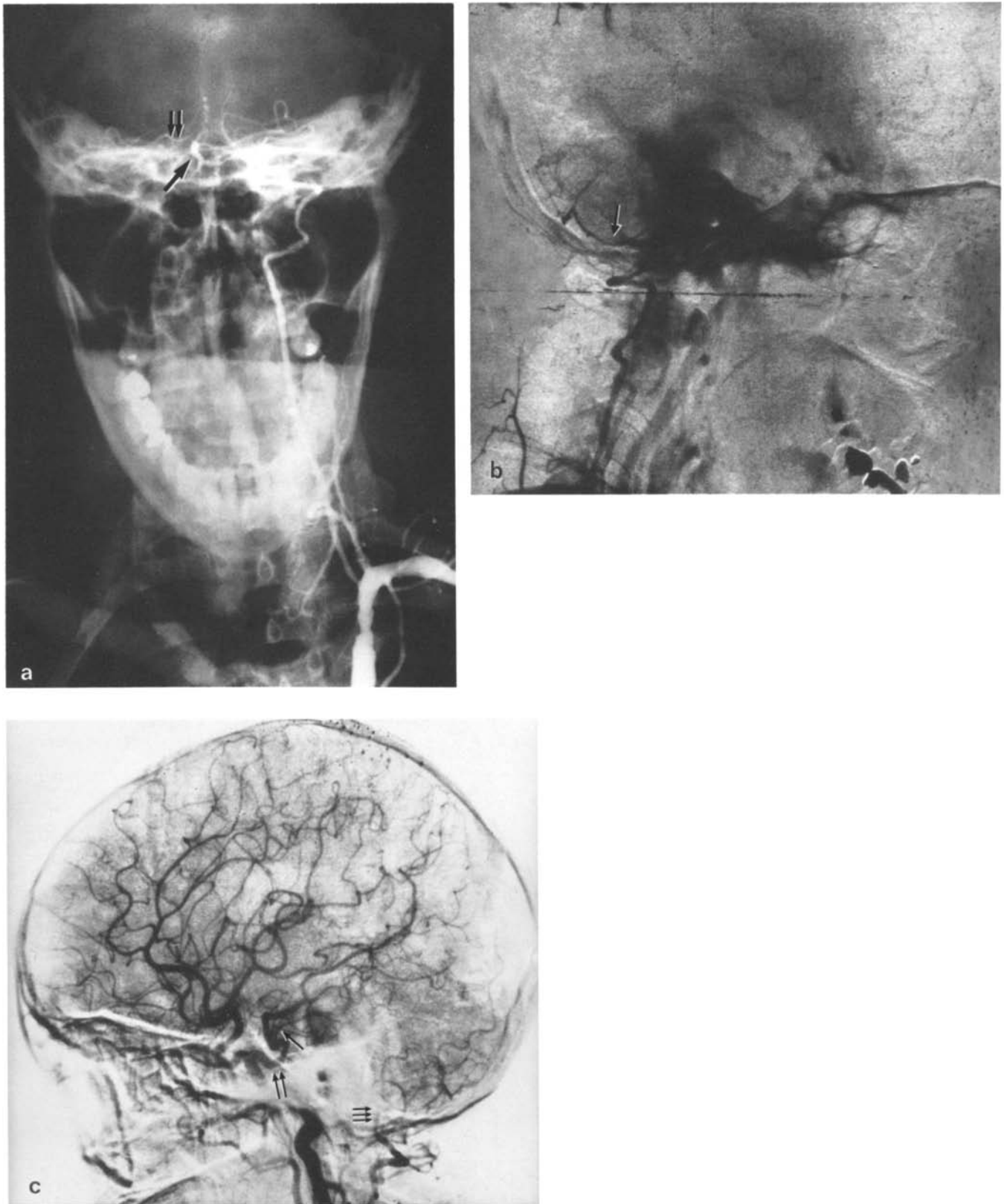
Eine Angiographie war angesichts eines erheblich reduzierten Allgemeinzustandes unterblieben. Akute supratentorielle Hirninfarkte waren bei keinem der aufgeführten Fälle mittels Computertomographie gefunden worden; lediglich der vierte Patient hatte einen älteren, klinisch bekannten Medialeinfarkt.

#### Diskussion

Frühere Untersucher haben über die Sensitivität und Spezifität der directionellen c-w Doppler-Sonographie hinsichtlich der Beurteilung normaler Vertebralarterien, mäßiger und deutlicher Abgangsstenosen bzw. proximaler Vertebralisobliterationen, des Subclavian-Steal Syndroms und einseitiger Vertebralisypoplasie bzw. distaler Stenosen und Obliterationen berichtet [3, 11, 13]. In der vorliegenden Arbeit weist die Korrelation Doppler-sonographischer Befunde mit den Ergebnissen von fast 2000 Brachialisarteriographien darauf hin, daß diese Untersuchungstechnik auch zuverlässige Befunde bei hochgradigen Stenosen und Obliterationen der distalen Vertebralarterien beidseits und der A. basilaris liefern kann – eine qualitativ gute Kurvendokumentation vorausgesetzt, die die Berechnung des modifizierten Pourcelot-Indexes erlaubt. Alle 26 Patienten mit einer zumindest 60%igen Basilarisstenose, beidseits kaliberschwachen Vertebralarterien im Fall einer A. trigemina primitiva persistens oder einer Basilarisobliteration zeigten eine ca. 40%ige oder höhere Reduktion der Summe der modifizierten Pourcelot-Indices beider Vertebralarterien im Vergleich zur Altersnorm. Auch die Ausbildung von Rete mirabile-Anastomosen konnte den peripheren Widerstandsindex nicht normalisieren.

Alle sonographischen Diagnosen einer hochgradigen Basilarisstenose bzw. -obliteration wurden prospektiv gestellt, sofern der modifizierte Pourcelot-Index beider Vertebralarterien 0,00 betrug [18]; die Stenosen und Obliterationen mit sonographisch noch gering erhaltenem diastolischen Restfluß wurden retrospektiv diagnostiziert.

Aus den vorliegenden Ergebnissen ist eine hohe Sensitivität der Methode abzuleiten. Die Spezifität kann noch nicht



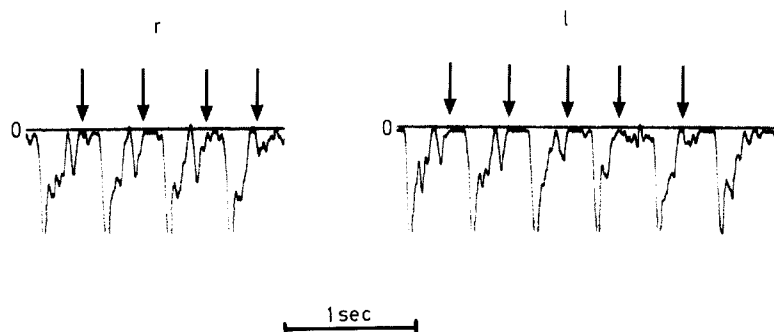
**Abb. 4a–c.** Retrograde Brachialisarteriographien beiderseits im Falle einer A. trigemina primitiva persistens. **a** Sagittale Projektion der linken Brachialisarteriographie mit einer kaliberschwachen A. basilaris (Pfeil), die nach dem Ursprung der Aa. cerebelli inf. ant. (2 Pfeile, AICA rechts) endet. Als Nebenbefund leichte proximale Subclaviastenose links. Die seitliche Projektion **b** läßt vorwiegend die Darstellung der PICA links (Pfeil) erkennen. **c** Brachialisarteriographie rechts, wobei die Aa. cerebelli sup. (Pfeil) aus der A. trigemina primitiva persistens (2 Pfeile) versorgt werden. Die kaliberschwache rechte Vertebralarterie endet in der rechten PICA (3 Pfeile)

**Tabelle 4.** Angiographisch–Doppler-sonographischer Vergleich bei angiographisch nachgewiesenen Basilarisobliterationen

Lokalisation der Basilarisobliteration (angiographisch)	Alter (Jahre), Geschlecht	Modifizierter Pourcelot-Index A. vertebralis rechts/links	% Reduktion gegenüber Altersnorm	Angiographische Zusatzbefunde	Doppler-Verlauf
Obliteration der distalen Vertebralarterien bds.	70, m	A. vertebralis bds. nicht auffindbar		A. basilaris bis zum mittleren Drittel retrograd gefüllt	
	64, w	0,00 0,00	100 <sup>a</sup>	A. basilaris einschließlich PICA bds. retrograd dargestellt	
Obliteration des kaudalen Drittels	45, m	0,00 0,13	63,9 <sup>a</sup>	Rete mirabile über PICA in A. cerebelli sup. links	Nach 14 und 19 Monaten jeweils 0,00/0,19
	63, w	0,00 0,00	100 <sup>a</sup>		
	60, m	0,00 0,00	100 <sup>a</sup>	Zusätzlich Mediaobliteration mit Ausbildung leptomeningealer Anastomosen	Nach 19 Tagen, 4 und 22 Monaten jeweils 0,00/0,00
Obliteration des kaudalen und des mittleren Drittels	59, m	A. vertebralis bds. nicht auffindbar		Prox. Vertebralisverschluß bds. mit kollat. Füllung der distalen Aa. vertebrales	
	77, m	0,00 0,00	100 <sup>a</sup>		
	66, w	0,00 0,00	100 <sup>a</sup>		
	51, m	0,00 0,00	100 <sup>a</sup>		Nach 18 Tagen 0,12/0,00
	35, m	0,00 0,00	100 <sup>a</sup>		Nach 14 Tagen 0,08/0,12
	53, m	0,00 0,00	100 <sup>a</sup>	Sektionsbefund; zusätzlich supraclinoidale Internaobliteration links	
	76, w	0,00 0,00	100 <sup>a</sup>		24 Tage zuvor Basilarisstenose im prox. Drittel angiogr. 0,00/0,12
Obliteration des mittleren Drittels	74, w	0,00 0,00	100 <sup>a</sup>	A. vertebralis links nur bis zum distalen zervikalen Abschnitt dargestellt, AICA bds. nicht identifizierbar	Nach 14 Tagen 0,08/0,08
	67, m	0,12 0,13	53,7 <sup>a</sup>	Obliteration am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel	Nach 11 Tagen 0,13/0,18

<sup>a</sup> Reduktion der Summe der modifizierten Pourcelot-Indices um mehr als 3 Standardabweichungen vom Mittelwert des altersentsprechenden Normalkollektivs. Bei nur einseitigem Wert des modifizierten Pourcelot-Indexes von 0,00 wurden die Werte aus Tabelle 2 als Normalkollektiv herangezogen

m = männlich, w = weiblich



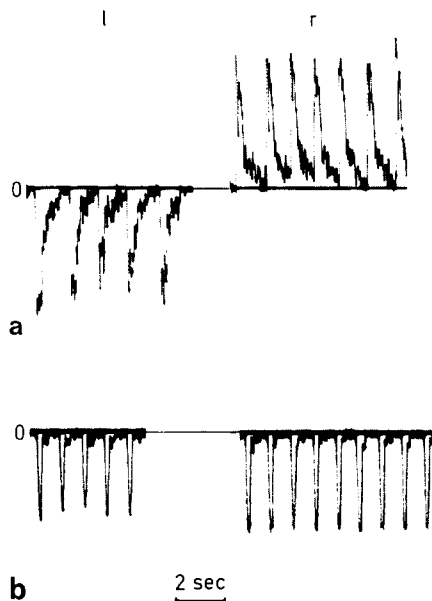
**Abb. 5.** Doppler-sonographischer Befund der Vertebralarterien des 4. Falles aus Tabelle 4. 0 = Nulllinie; Abszisse: Zeit, Ordinate: Strömungsgeschwindigkeit. r = rechts, l = links. Die Strömungsgeschwindigkeit erreicht in beiden Vertebralarterien bereits vor Beginn der nächsten Strompuls-welle den Wert null (Pfeile)



**Tabelle 5.** Doppler-sonographischer Befund bei den 4 Patienten mit der Verdachtsdiagnose einer Basilarisobliteration, die nicht angiographisch untersucht wurden

Alter (Jahre) Geschlecht	Modifizierter Pourcelot-Index A. vertebralis rechts/links	Doppler- Verlauf
53, m	A. vertebralis bds. nicht auffindbar	
74, m	0,00 0,00	
60, w	0,00 0,00	
84, m	0,00 0,00	1 Jahr zuvor 0,11/0,06

m = männlich, w = weiblich



**Abb. 6a, b.** Doppler-sonographische Befunde der Vertebralarterien des letzten Falles aus Tabelle 5. Benennung wie in Abb. 5. **a** Ableitung ein Jahr vor der sonographischen Diagnose einer Basilarisobliteration, anlässlich mehrerer Attacken von Hemiballismus. **b** Fehlender diastolischer Fluß beidseits. Die unterschiedliche Strömungsrichtung ergibt sich aus der Aufzeichnung des auf die Sonde zu- bzw. abführenden Schenkels der Vertebralarterie am Atlas

abschließend beurteilt werden, da nicht bei allen vorliegenden 10162 Doppler-Sonogrammen retrospektiv die Indices bestimmt wurden. Auch drei der vier angiographisch nicht kontrollierten Fälle hatten passager oder permanent eine Hirnstammsymptomatik, die mit dem Vorliegen einer Zirkulationsstörung der A. basilaris in Einklang zu bringen war. Lediglich beim dritten Fall aus dieser Gruppe stand klinisch ein organisches Psychosyndrom im Vordergrund der neurologischen Symptomatik.

Der hohe Anteil an Patienten mit einseitiger Vertebralis-hypoplasie in der Gruppe der Basilarisstenosen weist auf ein höheres Risiko dieser Patientengruppe für arteriosklerotische Veränderungen an der A. basilaris bzw. der distalen nicht hypoplastischen A. vertebralis hin.

Die Einführung des modifizierten Pourcelot-Indexes als Parameter des peripheren Gefäßwiderstandes ist u. E. metho-

disch sinnvoll: wir fanden in unserem Normalkollektiv mittels dieser Methode eine asymmetrische Verteilung mit 52% Linksüberwiegen, 28% Rechtsüberwiegen und 20% Seiten-gleichheit der diastolischen Flüsse in den Vertebralarterien. Ähnliche Zahlen (42%, 32% und 26%) sind von Krayenbühl und Yasargil [6] in bezug auf die Gefäßkaliber publiziert worden.

Explizite Aussagen über die sonographische Erfäßbarkeit von Basilarisstenosen fanden wir in der Literatur nicht. Die von uns festgestellte Grenze von 60% entspricht jedoch erwartungsgemäß dem Wert, bei dem allgemein der Beginn der hämodynamischen Wirksamkeit extracranieller [3] und intra-cranieller [2] Stenosen angesetzt wird.

Während man in früheren Jahren eine Basilarisobliteration als schwerwiegendes Ereignis betrachtete, das entweder ein erhebliches neurologisches Defizit oder den Tod des Patienten zur Folge hatte, zeigten spätere sorgfältige Untersuchungen durch Fields et al. [5] und Caplan [4], daß eine Reihe von Patienten dieses Ereignis ohne permanentes Defizit überleben. Aus diesem Grund ist es notwendig, eine zuverlässige und leicht zu handhabende nicht-invasive Technik einzusetzen, um diese Patientenuntergruppe mit vertebro-basilärer Erkrankung zu erkennen: zum einen hat eine Antikoagulantienbehandlung ihre größte Wirksamkeit in den ersten Wochen bzw. Monaten, nachdem eine Stenose symptomatisch geworden ist [17], zum anderen werden in einigen Zentren mittlerweile auch eine lokale fibrinolytische Therapie [15] bzw. eine transluminale Ballonkatheter-Angioplastie der A. basilaris [8] eingesetzt, die beide nur bei frühzeitigem Vorgehen erfolgversprechend sind.

Wegen der geringen Sensitivität des Doppler-Sonogramms für unter 60%ige Basilarisstenosen kann sich die Angiographie-Indikation jedoch nicht auf den Doppler-Befund als Hauptkriterium stützen. Dagegen kann eine positive Doppler-Sonographie der Vertebralarterien gerade bei klinisch nicht eindeutigen Fällen die Notwendigkeit einer frühzeitigen Angiographie und Behandlung belegen.

**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 Unermüdlichkeit bei der Anfertigung von Subtraktionsaufnahmen, und Herrn und Frau Bontzol danken wir für die Qualität ihrer fotografischen Arbeiten.

## Literatur

1. Archer CR, Horenstein S (1977) Basilar artery occlusion. Clinical and radiological correlation. *Stroke* 8: 383–390
2. Biedert S, Winter R, Betz H, Reuther R (1985) Die Doppler-Sonographie bei intracraniellen 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 extracraniellen Hirnarterien. Thieme, Stuttgart
4. Caplan LR (1979) Occlusion of the vertebral or basilar artery. Follow-up analysis of some patients with benign outcome. *Stroke* 10: 277–282
5. Fields WS, Ratnov G, Weibel J, Campos RJ (1966) Survival following basilar artery occlusion. *Arch Neurol* 15: 463–471
6. Krayenbühl H, Yasargil MG (1957) Die vaskulären Erkrankungen im Gebiet der Arteria Vertebralis und Arteria Basilaris. Thieme, Stuttgart
7. Lie TA (1968) Congenital anomalies of the carotid arteries. Excerpta Medica Foundation, Amsterdam

8. Piepgras DG, Sundt TM jr, Forbes GS, Smith HC (1984) Balloon catheter transluminal angioplasty for vertebrobasilar ischemia. In: Berguer R, Bauer RB (eds) Vertebrobasilar arterial occlusive disease. Raven Press, New York, pp 215–224
9. 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
10. 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
11. Reutern GM von, Büdingen HJ, Freund HJ (1976) Doppler-sonographische Diagnostik von Stenosen und Verschlüssen der Vertebralarterien und des Subclavian-Steal-Syndroms. Arch Psychiatr Nervenkr 222:209–222
12. Reutern GM von, Voigt K, Ortega-Suhrkamp E, Büdingen HJ (1977) Doppler-sonographische Befunde bei intrakraniellen vaskulären Störungen. Arch Psychiatr Nervenkr 223:181–196
13. Reutern GM von, Pourcelot L (1978) Cardiac cycle-dependent alternating flow in vertebral arteries with subclavian artery stenoses. Stroke 9:229–236
14. Reutern GM von, Clarenbach P (1980) Valeur de l'exploration doppler des collatérales cervicales et de l'ostium vertébral dans le diagnostic des sténoses et occlusions de l'artère vertébrale. Ultrasonics 1:153–162
15. 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
16. Saltzman GF (1959) Patent primitive trigeminal artery studied by cerebral angiography. Acta Radiol 51:329–336
17. Toole JF (1984) Cerebrovascular disorders, chapter 7, Medical management of transient ischemic attacks. Raven Press, New York, pp 117–124
18. Winter R, Biedert S, Reuther R (1984) Das Doppler-Sonogramm bei Basilaristhrombosen. Eur Arch Psychiatr Neurol Sci 234:64–68

Eingegangen am 31. Juli 1985