

Dopplersonographische Diagnostik von Stenosen und Verschlüssen der Vertebralarterien und des Subclavian-Steal-Syndroms

GERHARD-MICHAEL VON REUTERN, HANS JOACHIM BÜDINGEN
UND HANS-JOACHIM FREUND

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

Eingegangen am 8. April 1976

THE DIAGNOSIS OF OBSTRUCTIONS OF THE VERTEBRAL AND SUBCLAVIAN ARTERIES BY MEANS OF DIRECTIONAL DOPPLER SONOGRAPHY

SUMMARY. The Doppler examination of the vertebral and subclavian arteries was compared with the angiographic findings in 40 cases. The vertebral flow was recorded at its atlas slope, the subclavian artery at the supraclavicular fossa.

Twenty-seven normal Doppler results were confirmed by angiography in 26 cases. In one case there was a 70% stenosis at the origin of the vertebral artery.

Occlusions, stenoses, and severe hypoplasia of the vertebral artery can be detected, but not distinguished from each other by the Doppler examination. Diagnostically relevant findings are either nondetectable flow above the vertebral artery or only minor pulsations with amplitudes less than 25 % of the normal side.

Eleven cases showed a flow reversal in a vertebral artery. Five of them were angiographically controlled and all showed a typical subclavian steal syndrome.

Although the precision of the results of the examination of the vertebral artery is not as good as for the carotid arteries, it is a rough, suitable atraumatic screening method particularly for the subclavian steal syndrome.

KEY WORDS: Doppler Sonography - Vertebral Artery - Subclavian Artery - Subclavian Steal Syndrome.

ZUSAMMENFASSUNG. Bei 40 angiographisch kontrollierten Fällen wurden mit der direktionellen Doppler-Sonographie die Aa. vertebrales und Aa. subclaviae auf freie Durchgängigkeit, Strömungsbehinderungen oder ein Subclavian-Steal-Syndrom untersucht. Die A. vertebralis wurde im Be-

reich ihrer Atlasschlinge, die A. subclavia in der Fossa supraclavicularis major beschallt.

Bei 26 der 27 als normal beschriebenen Doppler-Befunde an der A. vertebralis fand sich auch angiographisch kein Anhalt für eine hämodynamisch wirksame Strömungsbehinderung dieses Gefäßes. 1 Patient zeigte eine etwa 70%ige Abgangsstenose der A. vertebralis.

Abnorme Dopplerbefunde (deutlich verminderte Strömungsgeschwindigkeit im Seitenvergleich oder nicht nachweisbare Strömung) sind sichere Hinweise für Stenose, Verschluß oder Hypoplasie der A. vertebralis, die jedoch nicht voneinander unterschieden werden können.

Der dopplersonographische Nachweis einer retrograden Durchströmung der A. vertebralis weist ein Subclavian-Steal - Syndrom nach. Von bislang 11 Fällen wurden 5 angiographisch kontrolliert und bestätigt.

Die Anwendung der Doppler-Sonographie zur Untersuchung stenosierender Erkrankungen der hirnversorgenden Arterien ist damit auch eine geeignete atraumatische Methode für die Erkennung der Strömungsbehinderungen der A. vertebralis und des Subclavian-Steal-Syndroms.

SCHLÜSSELWÖRTER. Doppler-Sonographie - A. vertebralis - A. subclavia - Subclavian-Steal-Syndrom.

EINLEITUNG

In den beiden vorausgegangenen Arbeiten [1, 7] wurden die methodischen Grundlagen für die Differenzierung der Halsgefäße mit der directionsellen Ultraschall-Doppler-Sonographie und ihre Anwendung für die Diagnostik von Stenosen und Verschlüssen der Karotiden beschrieben. In dieser Arbeit werden die Befunde an den Vertebralarterien dargestellt. Schwierigkeiten ihrer Untersuchung ergeben sich vor allem aus der anatomischen Situation. Sie können, im Gegensatz zu den Karotiden, nicht über einen längeren Abschnitt verfolgt, sondern lediglich entweder transoral [3] oder im Bereich der Atlasschlinge [6] beschallt werden. Die Untersuchung des Abgangs der A. vertebralis aus der A. subclavia oder dem Truncus brachiocephalicus ist oft nicht möglich. Weitere Schwierigkeiten sind durch die häufigen, anlagebedingten Kaliberdifferenzen im Seitenvergleich zu erwarten [4].

Auch wenn die Diagnose einer Vertebralisstenose bislang nur selten operative Konsequenzen hat [2, 9] ist die Untersuchung der Vertebralarterien im Rahmen einer atraumatischen, umfassenden Beurteilung der Durchgängigkeit aller hirnversorgender Arterien und zur Diagnose des Subclavian-Steal-Syndroms wichtig.

Nachdem Voruntersuchungen [1] gezeigt hatten, daß die Vertebralarterien im Normalfall regelmäßig und ohne größeren Zeitaufwand im Bereich ihrer Atlasschlinge beschallt werden können, sind in der vorliegenden Arbeit folgende Fragen zu stellen:

1. Mit welcher Zuverlässigkeit kann eine Hypoplasie, eine Stenose oder ein Verschluß der A. vertebralis erkannt und voneinander differenziert werden, und
2. erlaubt die Untersuchung der A. vertebralis und A. subclavia in ihrem

proximalen Abschnitt die sichere Diagnose eines Subclavian-Steal-Syndroms.

METHODIK UND KRANKENGUT

Unter Verwendung des directionsellen Ultraschall-Doppler-Gerätes der Firma Delalande (Débitmètre Ultrasonique Directionelle) wurden die Vertebralarterien von 220 Patienten (Juli 1975 bis März 1976) untersucht. Die Untersuchung wurde durchgeführt, wenn

1. anamnestische oder klinisch-neurologische Hinweise für eine Strömungsbehinderung des vertebrobasilären Systems vorlagen,
2. die vorausgegangene Untersuchung der Karotiden einen pathologischen Befund ergab und eine Gesamtbeurteilung der hirnversorgenden Arterien erwünscht war, und
3. nach der Anamnese oder dem klinischen Befund (Puls- oder Blutdruckdifferenz an den Armen) Hinweise für einen subclavian-steal oder eine Subclaviastenose vorlagen.

Daneben wurden die Vertebralarterien und Aa. subclaviae von 8 Patienten mit arterio-venösem Shunt am Unterarm bei dialysepflichtiger Niereninsuffizienz untersucht.

40 normale und abnorme Doppler-Befunde konnten durch nachfolgende Angiographie der extrakraniellen Hirnarterien (Brachialis-, und/oder Aortenbogenangiographie) überprüft werden.

Die physikalischen, physiologischen und pathophysiologischen Grundlagen der Ultraschall-Doppler-Sonographie und die Untersuchungstechnik zur Identifizierung der Vertebralarterien bei Beschallung ihrer Atlasschlinge wurden bereits beschrieben [1].

Die anatomischen Grundlagen und die Schallkopfposition für die Untersuchung der A. vertebralis im Bereich ihrer Atlasschlinge und der A. subclavia sind in Abbildung 1 halbschematisch wiedergegeben.

Zur Beschallung der A. vertebralis wird der Schallkopf zwischen Mastoidspitze und Atlasquerfortsatz mit Richtung zum gegenseitigen Ohr oder zur gegenseitigen Orbita aufgesetzt. Ist die Atlasschlinge der A. vertebralis etwas ausladender, befindet sich der günstigste Beschallungspunkt in gleicher Höhe aber etwas dorsaler. Meist wird ein Fluß von der Sonde weg (Ausschlag der Pulskurven nach oben) registriert (Beschallung des kranialen Anteils der Atlasschlinge), seltener auch ein Fluß auf die Sonde zu (kaudaler Anteil der Atlasschlinge). Somit ist allein aus dem Kurvenausschlag die Strömungsrichtung in der A. vertebralis nicht zu bestimmen. Da der Winkel der Beschallungsrichtung zur Achse des beschallten Gefäßabschnittes nicht einmal annäherungsweise (wie bei der A. carotis communis) bestimmbar ist, muß auf eine Quantifizierung der Ergebnisse verzichtet werden und der Seitenvergleich ist nur beschränkt möglich. Zur Beschallung der A. subclavia wird der Schallkopf in der Fossa supraclavicularis major plaziert (s. Abb. 1, rechts) und nach kaudal und leicht lateral gerichtet. Der Kurvenausschlag erfolgt konstant nach oben (Fluß von der Sonde weg).

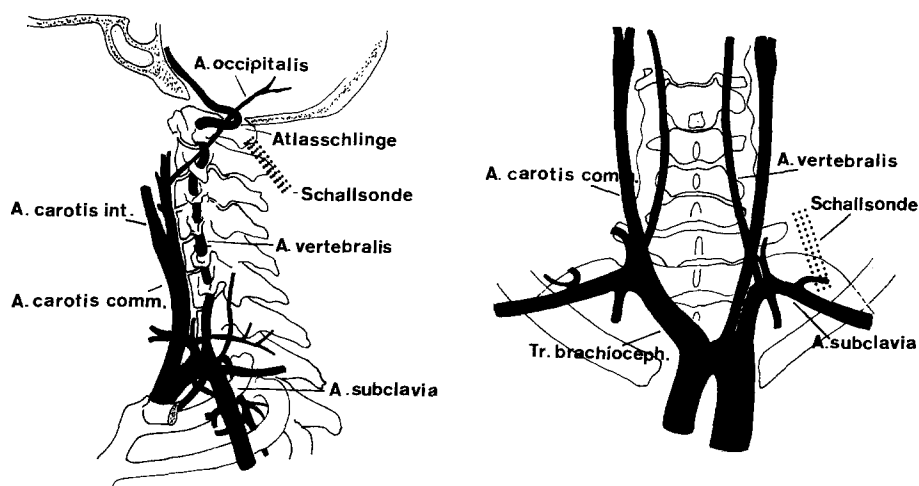


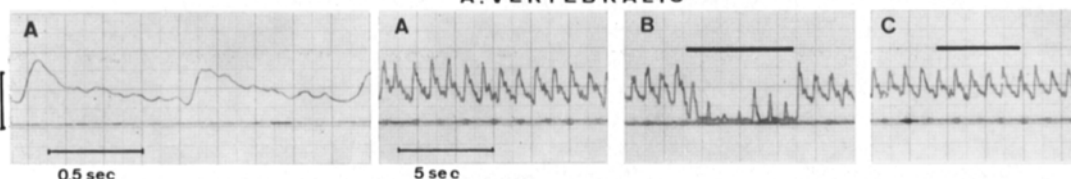
Abb. 1. Schema der für die Doppler-Sonographie der A. vertebralis und A. subclavia wesentlichen Arterien. Links ist die Schallsondenposition zur Beschallung der Atlasschlinge der A. vertebralis wiedergegeben, rechts die Position zur Beschallung der A. subclavia nach Abgang der A. vertebralis (modifiziert nach Krayenbühl & Yaşargil)

ERGEBNISSE

I. Normale Doppler-Befunde an der A. vertebralis und A. subclavia

Abbildung 2 zeigt die Gegenüberstellung der typischen Doppler-Puls-kurven der A. vertebralis (oberer Abschnitt) und A. occipitalis, ein Ast der A. carotis externa (unterer Abschnitt). Beide Arterien können bei der genannten Schallkopfposition abgeleitet werden und müssen daher voneinander differenziert werden. Bei Schallkopfausrichtung leicht nach ventral und kranial, wie oben beschrieben, registriert man meist einen Ausschlag der Doppler-Pulskurve der A. occipitalis nach unten (Fluß auf die Sonde zu). Dies genügt jedoch zur Differenzierung nicht, da bei der A. vertebralis ein Kurvenausschlag in beide Richtungen gefunden werden kann. Die Doppler-Pulskurve der A. vertebralis (hirnversorgendes Gefäß) zeigt eine geringe systolische Amplitudenmodulation und relativ hohe diastolische Amplitude; akustisch imponiert das Signal als "weiches Zischen" (ähnlich dem der A. carotis interna). Die Doppler-Pulskurve der A. occipitalis (haut- und muskelversorgendes Gefäß) zeigt eine deutliche systolische Amplitudenmodulation mit entsprechend "peitschendem" Klangcharakter. Hierdurch ist im Normalfall eine sichere Differenzierung möglich (Abb. 2A). Dies gilt jedoch nicht für den pathologischen Fall, z. B. beim Subclavian-Steal-Syndrom. Da die oberflächlich gelegene A. occipitalis oft schon durch leichten Sondendruck komprimierbar ist (Abb. 2B, unterer Abschnitt), wäre hierdurch eine Unterscheidung von

A. VERTEBRALIS



A. OCCIPITALIS

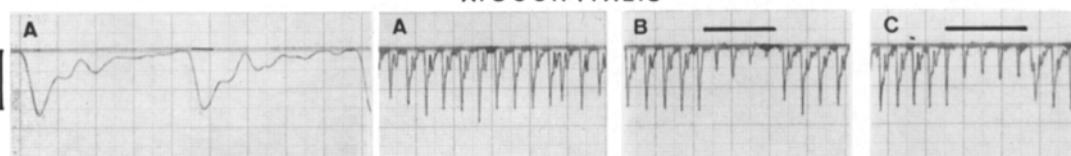


Abb. 2. Doppler-Pulskurven der A. vertebralis (oben) und A. occipitalis (unten). In A unbeeinflusste Pulskurven. In B ist der Effekt bei Kompression der Gefäße durch Druck mit der Schallsonde, in C der Effekt bei breiter manueller Kompression der Haut occipital der Ableitstelle dargestellt. Durchgezogene Linie unter bzw. über den Pulskurven = Strömungsgeschwindigkeit O. Balken über den Pulskurven markieren die Dauer der Kompressionsphasen. Papiergeschwindigkeit: 50 und 5 mm/sec

der tiefer liegenden A. vertebralis denkbar. Diese kann jedoch häufig - besonders bei geringem subkutanem Fettpolster und weiter Atlasschlinge - ebenso durch Sondendruck komprimiert werden (Abb. 2 B, oberer Abschnitt).

Eine sichere Erkennung der A. occipitalis ist nur durch Kompression der A. occipitalis distal der Ableitstelle (mit dem wenige cm dorsal der Ableitstelle breit auf die Occipitalregion aufgelegten Finger) möglich. Es zeigt sich dabei eine deutliche Verminderung der Amplitude (Abb. 2 C, unterer Abschnitt). Die Doppler-Pulskurve der A. vertebralis läßt sich durch diesen Kompressionstest nicht beeinflussen (Abb. 2 C, oberer Abschnitt). Es ist hier besonders darauf zu achten, daß durch die Kompression die Schallkopfposition nicht verändert wird. Bei etwas zu ventraler Schallkopfposition kann auch die A. carotis interna beschallt werden. Zur Vermeidung von Verwechslungen sollten immer beide Gefäße in diesem Gebiet dargestellt werden.

27 der als normal beschriebenen Doppler-Befunde an der A. vertebralis konnten durch nachfolgende Angiographie kontrolliert werden. Bei 14 Fällen war die A. vertebralis vom Abgang bis zum Eintritt in die Schädelbasis dargestellt. In allen Fällen zeigte das Angiogramm des untersuchten Abschnitts (Atlasschlinge) eine normalkalibrige Vertebralis in diesem Bereich.

Bei einem Fall fand sich angiographisch eine etwas 70%-ige Abgangs-Stenose. Demnach konnte in allen Fällen die Durchgängigkeit und

physiologische Strömungsrichtung nach dem Doppler-Befund richtig vorausgesagt werden. Wegen des nur unsicher abschätzbaren Beschallungswinkels wurden Seitendifferenzen der Amplituden der Doppler-Signale bis zu 75% als nicht pathologisch bewertet. Im Vordergrund stand die Frage nach der Durchgängigkeit.

Abbildung 3 zeigt in A typische Doppler-Pulskurven der A.subclavia. Das normale Doppler-Signal ist durch einen raschen Anstieg der Blutströmungsgeschwindigkeit während der Systole und eine kurzdauernde

A. subclavia

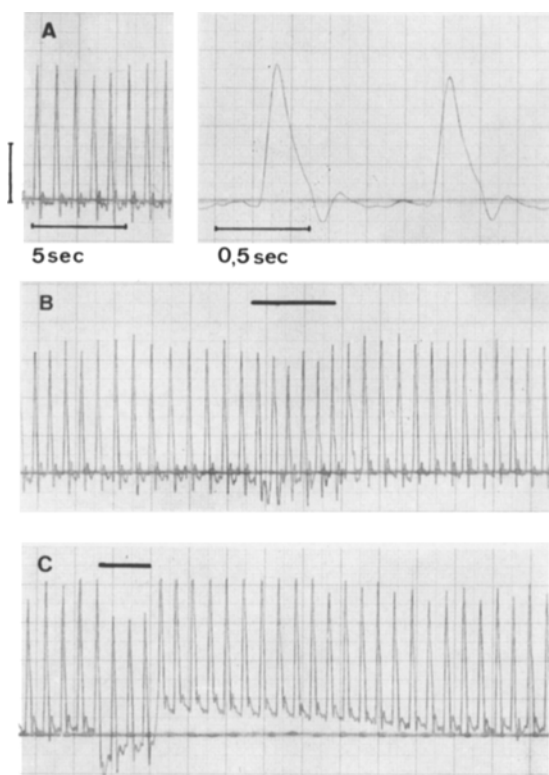


Abb. 3. A-C. Doppler-Pulskurven der A. subclavia bei einer Normalperson. A: Unbeeinflusste Strömungssignale, B: Effekt bei suprasystolischer Kompression der ipsilateralen A. brachialis mit einer Blutdruckmanschette (Abnahme der systolischen Strömungsgeschwindigkeit). C: Effekt bei kräftiger Kontraktion der ipsilateralen Armmuskulatur: während der Kontraktion Abnahme der systolischen Strömungsgeschwindigkeit mit starkem diastolischen Rückfluß, nach der Kontraktion deutliche Zunahme der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit

Strömungsumkehr zu Beginn der Diastole charakterisiert. In Abbildung 3 B ist der Effekt einer raschen, suprasystolischen Kompression der A. brachialis mit einer Blutdruckmanschette und in Abbildung 3 C der Effekt bei rascher und kräftiger isometrischer Kontraktion der gleichseitigen Schultergürtel-, Oberarm- und Unterarmmuskulatur mit Faustschluß wiedergegeben. Nach Entspannen des Armes kommt es zu einer deutlichen Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit. Diese Änderungen entsprechen den für die A. radialis und Äste der A. carotis externa beschriebenen Verhältnissen und sind für die Diagnostik wichtig.

Bei 12 angiographisch kontrollierten Fällen bestand Übereinstimmung zwischen der Doppler-Diagnose einer freien Durchgängigkeit der A. subclavia und dem Normalbefund im Angiogramm.

A. Die Bestimmung der physiologischen Strömungsrichtung in der A. vertebralis. Wie bereits besprochen, kann die physiologische Strömungsrichtung in der A. vertebralis wegen der unklaren Beziehung zwischen Schall- und Gefäßachse im Bereich der Atlasschlinge nicht an der Richtung der Pulskurven erkannt werden. Die Pulskurven können bei normaler Strömungsrichtung sowohl nach positiv (oben) als auch nach negativ (unten) gerichtet sein. Dies ist in Abbildung 4 dargestellt. Leichte Kippung der Schallsonde führt zu einer Umkehrung des Pulskurvenausschlags. Durch Erhöhung des peripheren Strömungswiderstandes im ipsilateralen Arm (kräftige isometrische Muskelanspannung) kommt es bei physiologischer Strömungsrichtung zu keiner Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit, wie beim Subclavian-Steal-Syndrom (s. u.). Selten kann eine geringe Zunahme registriert werden.

Atlasschlinge der A. vertebralis

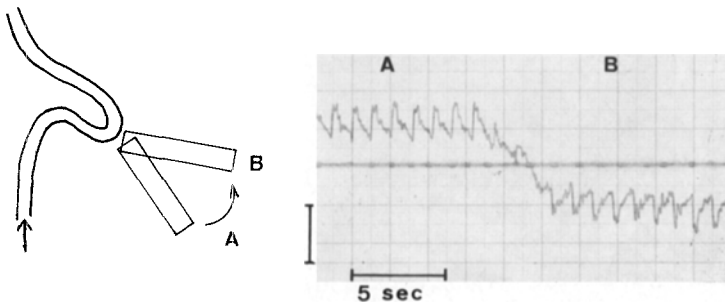


Abb. 4. Umkehrung des Pulskurvenausschlags durch Kippung der Schallsonde bei Beschallung der A. vertebralis im Bereich ihrer Atlasschlinge

II. Pathologische Befunde an der A. vertebralis und A. subclavia

A. Die Umkehrung der physiologischen Strömungsrichtung in der A. vertebralis beim Subclavian-Steal Syndrom. Eine Umkehrung der physiologischen Strömungsrichtung in der A. vertebralis einer Seite wurde bei 11 Patienten, die zum Ausschluß oder Nachweis eines Subclavian-Steal-Syndroms untersucht wurden, gefunden. Ein typisches Beispiel ist in

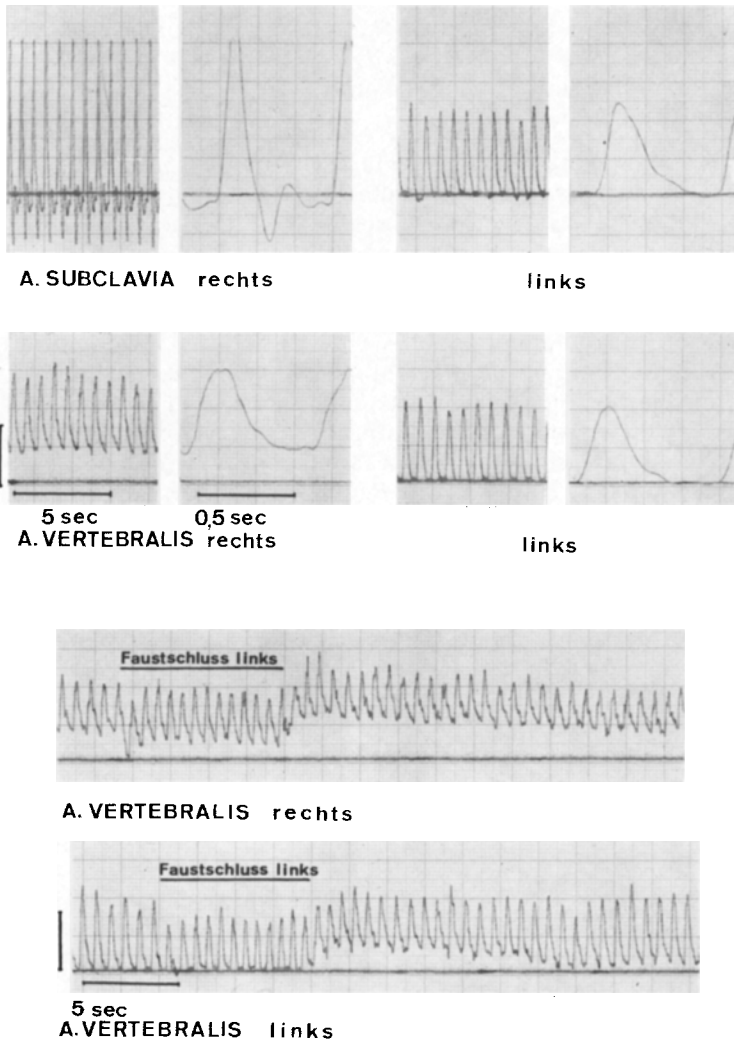


Abb. 5. Doppler-Pulskurven der A. subclavia und A. vertebralis rechts und links bei einem Subclavian-Steal-Syndrom (53-jähriger Patient) links. Faustschluß links (unterer Abschnitt) führt zu einer Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit in der linken und rechten A. vertebralis als Hinweis für eine Blutversorgung des linken Armes über die rechte A. vertebralis. Weitere Erklärungen siehe Text

Abbildung 5 wiedergegeben. Doppler-Befunde: Retrograde Durchströmung der A. vertebralis links, nachgewiesen durch die Änderung des Strömungssignals bei Kontraktion der Oberarm- und Unterarmmuskulatur links mit Faustschluß (während der Kontraktion Abnahme der systolischen, nach der Kontraktion Zunahme der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit, s. auch Abb. 3). An diesem Beispiel ist erneut zu erkennen, daß der Ausschlag der Pulscurven der A. vertebralis (links und rechts nach oben, obwohl links umgekehrte Durchströmung) keinen Rückschluß auf die Strömungsrichtung zuläßt. Hier wurde rechts der abführende, links der normalerweise zuführende Anteil der Atlasschlinge beschallt. Die dargestellte Beeinflussung der Strömungssignale durch Muskelkontraktion des ipsilateralen Armes ist aber beweisend für eine retrograde Durchströmung der A. vertebralis. In diesem Fall wurde auch eine Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit in der rechten A. vertebralis durch Muskelkontraktion des linken Armes festgestellt. Dies weist auf die Durchblutung des linken Armes über den rechten Truncus brachiocephalicus und die rechte A. vertebralis hin. Hierdurch wird auch die hohe systolische und diastolische Strömungsgeschwindigkeit in der rechten A. vertebralis erklärt, die zusätzlich den hinteren Hirnkreislauf versorgt. Die dargestellten Effekte sind in diesem Beispiel besonders deutlich ausgeprägt.

Bei bisher 5 angiographisch kontrollierten Fällen wurde die Doppler-Diagnose eines Subclavian-Steal-Syndroms bestätigt. Dabei fand sich in allen Fällen ein proximaler Subclavia-Verschluß.

In Abbildung 5 gleicht das Strömungssignal in der linken A. subclavia die nach dem Angiogramm proximal verschlossen war, dem der linken A. vertebralis. Ein entsprechendes Profil der A. subclavia kann auch bei einer proximalen Stenose ohne subclavian steal gefunden werden (Abb. 6), so daß hier allein nicht auf das Vorliegen eines Subclavian-Steal-Syndroms geschlossen werden kann. Entscheidend ist der Nachweis einer Strömungsumkehr in der ipsilateralen A. vertebralis.

Bei 4 Patienten mit hochgradiger Subclaviastenose proximal vom Vertebralisabgang (2 davon angiographisch bestätigt) fanden wir ipsilateral keine A. vertebralis (Abb. 6). In einem Fall mit Subclavia-Verschluß distal des Abgangs der A. vertebralis war dopplersonographisch ein steal über eine oberflächliche Cervicalarterie nachweisbar. Beide Vertebralarterien waren orthograd durchströmt (angiographisch bestätigt).

B. Fehlende Darstellung der A. vertebralis im Doppler-Sonogramm.

Insgesamt konnte in 29 Fällen die A. vertebralis einer Seite nicht nachgewiesen werden. Bei den 7 angiographisch kontrollierten Fällen fand sich dreimal ein Vertebralisverschluß und viermal eine Hypoplasie. In den Fällen mit hypoplastischer Vertebralis kam es bei der Brachialis-Angiographie zu keiner sicheren Darstellung der A. basilaris und deren intrakraniellen Äste über die hypoplastische A. vertebralis. Somit gibt der Doppler-Befund einer nicht nachgewiesenen A. vertebralis einen zuverlässigen Hinweis für eine Strömungsbehinderung, wobei zwischen einem Verschluß, einer Hypoplasie oder einer Stenose der A. vertebralis nicht unterschieden werden kann.

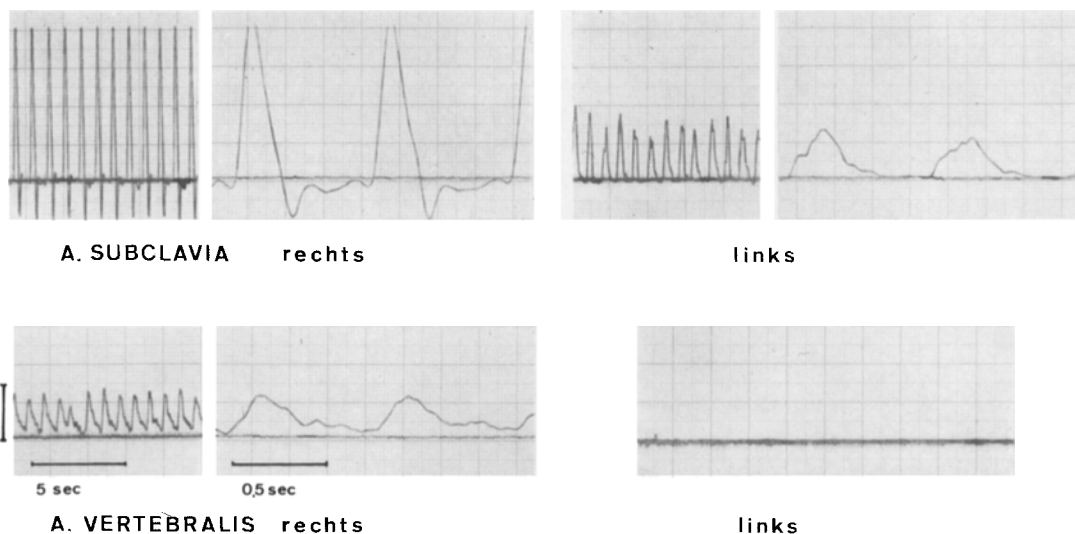


Abb. 6. Doppler-Pulskurven der A. subclavia (oben) und A. vertebralis (unten) rechts und links bei einem 72-jährigen Patienten mit proximaler Stenose der A. subclavia links ohne Subclavian-Steal-Syndrom

C. Eine verminderte Amplitude der Pulskurven einer A. vertebralis auf weniger als 25% des Strömungssignals der Gegenseite wurde in 9 Fällen gefunden. Die angiographische Kontrolle von zwei Fällen ergab eine Hypoplasie.

III. Doppler-Befunde an der A. vertebralis und A. subclavia bei arterio-venösem Shunt am Unterarm

Bei 8 Patienten mit dialysepflichtiger Niereninsuffizienz wurde der Einfluß des arterio-venösen Shunts am Unterarm auf die Doppler-Pulskurven der ipsilateralen A. vertebralis und A. subclavia untersucht. Bei 3 Fällen traten nach Anlegen des Shunts Zeichen einer Basilarisinsuffizienz auf. Deshalb kam die wichtige Frage auf, ob durch den Shunt eine Minderdurchblutung der A. vertebralis oder eine Umkehr der physiologischen Strömungsrichtung in diesem Gefäß (Subclavian-Steal-Syndrom) verursacht wurde. Abbildung 7 zeigt ein typisches Beispiel. Die Doppler-Pulskurven der linken A. subclavia (Shunt-Seite) zeigen in A als Ausdruck der peripheren Widerstandsminderung eine hochgradig erhöhte diastolische Strömungsgeschwindigkeit. Bei Kompression des Shuntess (Abb. 7 B) kommt es unmittelbar zu einer Normalisierung der Pulskurven der A. subclavia. Abbildung 7 C zeigt den Effekt einer zunehmenden Kompression der linken A. brachialis mittels Blutdruckmanschette auf die Vertebralispulskurve der linken Seite. Es kommt zu einer leichten Zunahme der systolischen und deutlicher auch der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit der A. vertebralis. Eine solche Beeinflussung fanden wir bei 2 Patienten. Die

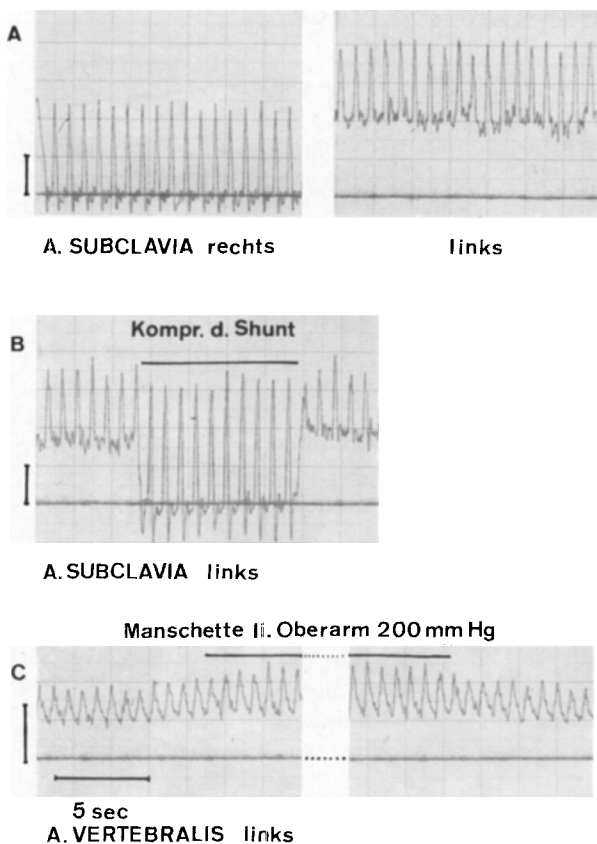


Abb. 7. A-C. Doppler-Pulskurven der A. subclavia rechts und links bei einem 58-jährigen Patienten mit arteriovenösem Shunt am linken Unterarm bei dialysepflichtiger Niereninsuffizienz. A) Deutlich erhöhte diastolische Strömungsgeschwindigkeit in der linken A. subclavia, bedingt durch die Minderung des peripheren Strömungswiderstandes. B) Effekt auf die Pulskurven bei Kompression des Shunt. Normalisierung der Strömungsprofile in der A. subclavia. C) Effekt auf die Pulskurven der ipsilateralen A. vertebralis bei suprasystolischer Kompression der A. brachialis links mit einer Blutdruckmanschette. Zunahme der systolischen und diastolischen Strömungsgeschwindigkeit

Normalkontrollen zeigten keinen entsprechenden Befund, so daß anzunehmen ist, daß durch den Shunt eine geringe Minderdurchblutung der gleichseitigen A. vertebralis bedingt sein kann. In keinem Fall aber konnten wir bisher eine retrograde Durchströmung der ipsilateralen A. vertebralis nachweisen. Die systematische Untersuchung dieser Patienten und die Korrelation der Doppler-Befunde und anamnestisch-klinischen Daten werden an anderer Stelle beschrieben.

DISKUSSION

Übereinstimmend mit den Erfahrungen von Keller [3] bei transoraler Doppler-Untersuchung der Aa. vertebrales können auch bei Beschallung ihrer Atlasschlinge zuverlässige Aussagen über ihre Durchgängigkeit gemacht werden. Mit beiden Methoden ist die Differenzierung zwischen einer Hypoplasie, einer Stenose oder einem Verschuß nicht möglich. Die transorale Beschallung erfordert systematische Kompressionstests an den Karotiden, die Komplikationen im Sinne zerebraler Ischämien zur Folge haben können. Ein weiterer Nachteil ist die Notwendigkeit einer Schleimhautanästhesie.

Die mitgeteilten Ergebnisse zeigen, daß die Doppler-Untersuchung der A. vertebralis nicht den Differenzierungsgrad, wie er in den vorausgehenden Arbeiten für die Karotiden beschrieben wurde, erreicht. Dies ist wegen der Untersuchung an nur einer Stelle des Gefäßes, welches hier noch dazu eine Schlinge bildet, nicht anders zu erwarten. Die Beurteilung der Ergebnisse wird auch dadurch erschwert, daß auf den vorliegenden Kontrollangiographien nicht immer jeder Abschnitt der A. vertebralis einwandfrei dargestellt war (Bildausschnitt, Überlagerung) und somit insbesondere Abgangsstenosen übersehen worden sein können. Bei Nichtdarstellung der A. vertebralis durch die Brachialisangiographie ist auch ein atypischer Abgang dieses Gefäßes aus der Aorta [5] nicht ausgeschlossen. Die angiographisch einwandfreie Darstellung aller extrakraniellen hirnvorsorgenden Arterien erfordert meist mehrere Serienangiogramme ("gedrehte" Serien, selektive Katheteruntersuchungen, ev. Rotationsangiographie [8], zusätzliche Direktpunktionen), was für den Patienten ein erhöhtes Risiko bedeutet.

Der Vergleich der bisherigen angiographischen und dopplersonographischen Befunde zeigt, daß höhergradige Strömungsbehinderungen der A. vertebralis dopplersonographisch erkannt werden. Die Validität der Methode muß jedoch noch an einem größeren angiographisch kontrollierten Patientengut überprüft werden.

Die Diagnose des Subclavian-Steal-Syndroms mit steal über die Aa. vertebrales kann dagegen mit Sicherheit gestellt werden, da die Möglichkeit der Beeinflussung des peripheren Widerstandes (Kontraktion der Armmuskulatur) besteht. Sie ist allein durch Vergleich der Blutdruckwerte an den Armen und der Doppler-Pulskurven der Aa. subclaviae nicht möglich. Die Feststellung, ob auch die in physiologischer Richtung durchströmte A. vertebralis einen deutlichen Effekt bei Muskelkontraktion des gegenseitigen Armes zeigt (nur ein Teil der Fälle), läßt grobe Rückschlüsse auf die Menge der zur Versorgung des Armes benötigten Blutvolumenanteile zu. Bei für ein Subclavian-Steal-Syndrom typischen Doppler-Befunden sind Fehldiagnosen unwahrscheinlich. Schwierigkeiten wären denkbar bei sehr geringem Kollateralkreislauf über die Vertebralarterien und steal vorwiegend über andere Gefäße. Dann ist aber auch zu erwarten, daß der angiographische Nachweis der retrograd durchströmten A. vertebralis schwierig ist. Es ist nicht ausgeschlossen, daß der dopplersonographische Nachweis des Subclavian-Steal-Syndroms empfindlicher ist als der angiographische. Der Vergleich größerer Kollektive ist notwendig.

Werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeiten zusammengefaßt, kann festgestellt werden, daß mit der directionellen Ultraschall-Doppler-

Sonographie eine umfassende atraumatische und beliebig oft wiederholbare Beurteilung der Durchgängigkeit und Durchströmungsrichtung der extrakraniellen hirnversorgenden Arterien möglich ist und speziell für die Karotiden ein hoher Differenzierungsgrad der Diagnostik erreicht wird. Sie ist derzeit als aussagekräftigste Methode zur unblutigen Diagnostik von stenosierenden Erkrankungen der extrakraniellen Hirngefäße anzusehen.

Obgleich die klinische Bedeutung einer zuverlässigen screening-Methode zur Erfassung von Stenosen und Verschlüssen im extrakraniellen Verlaufsabschnitt der Hirnarterien keiner besonderen Erwähnung bedarf, sei an dieser Stelle doch auf zwei Vorteile besonders hingewiesen: Zum einen kann die Anzahl der Angiographien bei dopplersonographisch klaren Befunden gesenkt werden. Dies setzt selbstverständlich voraus, daß die Zuverlässigkeit der Dopplersonographie in dem entsprechenden Labor gesichert ist. Zum anderen finden sich überraschend viele Patienten mit Stenose oder Verschuß einer Halsarterie, die aufgrund der anamnestischen oder neurologischen Hinweise nicht einer Angiographie zugeführt worden wären. Zu dieser Gruppe gehörten Patienten, die weder Zeichen transitorischer Ischämien noch Halbseitensymptome aufweisen, aber uncharakteristische Beschwerden wie Benommenheitsgefühl, rasche Erschöpfbarkeit oder Nachlassen der geistigen und/oder allgemeinen Leistungsfähigkeit, oft mit leichter Reizbarkeit o. ä. haben. Häufig liegt außer der extrakraniellen Obstruktion keine schwere Zerebralsklerose vor, wodurch die häufige und bemerkenswerte Rückbildung dieser Beschwerden nach Operation verständlich wird.

Die verlässlichen Ergebnisse, welche durch die hier beschriebene einfache und vergleichbar billige dopplersonographische Untersuchung erzielt werden, berechtigen dazu, die Verbreitung dieser Methode in der internistischen, neurologischen und gefäßchirurgischen Praxis noch auf längere Zeit hin zu fördern. Die Anwendung der in Entwicklung befindlichen Ultraschall-Verfahren, die auf der einen Seite eine quantitative Messung des Durchflußvolumens bei gleichzeitiger Bestimmung der Tiefe und des Durchmessers der Arterie, und auf der anderen Seite die direkte Abbildung des Gefäßes (Ultraschall-Angiographie) erlauben, wird vorerst wenigen Zentren vorbehalten bleiben.

Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Sonderforschungsbereich Hirnforschung und Sinnesphysiologie (SFB 70) durchgeführt. Für die technische Hilfe danken wir Frau Teklenborg und Frau Andris. Herrn Prof. V. Schlosser (Gefäßchirurgische Abtlg. der Chirurgischen Universitätsklinik Freiburg) danken wir für die Überweisung von Patienten. Herrn Prof. K. Voigt (Sektion Neuroradiologie der Neurologischen Klinik) und dem Institut für Röntgendiagnostik der Universität (Dir. Prof. W. Wenz) danken wir für die Überlassung und Beurteilung der Angiogramme.

LITERATUR

1. Büdingen, H. J., von Reutern, G. -M., Freund, H. -J. :
Die Differenzierung der Halsgefäße mit der Doppler-Sonographie.
Arch. Psychiat. Nervenkr. (1976)
2. Fields, W. S. : Selection of stroke patients for vascular surgery.
Z. Neurol. 201, 95-97 (1972)
3. Keller, H., Müller, A., Meier, W., Schönbeck, M. : Transorale
Doppler-Sonographie unter Schleimhautanästhesie zur Beurteilung
der Strömungsverhältnisse in den Aa. vertebrales (Vertebralis-
Doppler). Dtsch. med. Wschr. 100, 943-946 (1975)
4. Krayenbühl, H. Yaşargil, M. G. : Die zerebrale Angiographie.
Stuttgart: Georg Thieme 1965
- 5.. Luzsa, G. : Röntgenanatomie des Gefäßsystems. Frankfurt:
Johann Ambrosius Barth 1972
6. Pourcelot, L. : Applications cliniques de l'examen Doppler
transcutané. Publ. présentée au Sem. technol. Broussais 1974
7. v. Reutern, G. -M., Büdingen, H. J., Hennerici, M., Freund, H. -J.;
Diagnose und Differenzierung von Stenosen und Verschlüssen der
Arteria carotis mit der Doppler-Sonographie, Arch. Psychiat.
Nervenkr. 222, 191-207 (1976)
8. Voigt, K., Stoeter, P., Petersen, D. : Rotational cerebral roentgeno-
graphy. I. Evaluation of the technical procedure and diagnostic
applicabilities by model studies. Neuroradiology 10, 95-100 (1975)
9. Vollmar, J. : Rekonstruktive Chirurgie der Arterien. Stuttgart:
Georg Thieme 1975