

Die Differenzierung der Halsgefäße mit der direktionellen Doppler-Sonographie

HANS JOACHIM BÜDINGEN, GERHARD-MICHAEL VON REUTERN
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 SELECTIVE EXAMINATION OF THE NECK ARTERIES BY DIRECTIONAL DOPPLER SONOGRAPHY

SUMMARY. The Doppler examination of the neck arteries of 300 subjects showed, that the common, internal and external carotid arteries and the vertebral artery can reliably be distinguished on the basis of their different pulse-curve characteristics. In addition, the compression of branches of the external carotid artery can identify these vessels in particular in pathologic cases. The details of the normal flow profiles and their changes by the compression tests are described. Compression of the vessels leads to a rise in flow resistance. The effect of such a rise in resistance is demonstrated using the A. radialis as a model.

The identification of the neck arteries provides the basis for diagnostic examination and localization of their stenoses and occlusions.

KEY WORDS: Doppler Sonography - Identification of Neck Arteries -
Carotid Arteries - Vertebral Artery - Screening of Stenoses .

ZUSAMMENFASSUNG. Bei 300 Gesunden und Patienten ohne stenosierende Gefäßerkrankung wird gezeigt, daß durch die direktionelle Doppler-Sonographie mit geringem Zeitaufwand die Differenzierung und damit die direkte selektive Beschallung aller extrakraniellen Hirnarterien möglich ist.

Im Normalfall sind die Aa. carotis communis, interna, externa und die A. vertebralis bereits durch ihre Pulskurvencharakteristika unterscheidbar. Diese Unterschiede werden auch durch die akustische Pulswiedergabe deutlich.

Im pathologischen Fall wird die zuverlässige Differenzierung der Arterien, insbesondere im Bereich der Karotisbifurkation, durch Kompression von Ästen der A. carotis externa notwendig. Entsprechend den haemodynamischen Gesetzen ändert sich die Strömungsgeschwindigkeit durch eine solche Änderung des peripheren Widerstandes. Die Auswirkungen dieser Widerstandsänderungen auf die Dopplerpulskurven werden zuerst am Modell der A. radialis, dann für die Halsarterien gezeigt. Grundlage der Unterscheidung der Halsarterien ist die Änderung der Pulskurven einzelner Externäste durch selektive Kompression. Die Unterscheidung arterieller und venöser Gefäße wird besprochen.

Die Unterscheidung der Halsgefäße ermöglicht die Differentialdiagnose zwischen Verschlüssen und hochgradigen Stenosen und die Lokalisation dieser Prozesse.

SCHLÜSSELWÖRTER: Doppler-Sonographie - Unterscheidung der Halsarterien - Karotiden - Vertebralarterien - Verschluß und Stenose-Unterscheidung.

EINLEITUNG

Fast zwei Drittel aller angiographisch nachgewiesenen Stenosen und Verschlüsse der Hirnarterien sind extrakraniell lokalisiert [3]. Unter der Vielzahl atraumatischer Methoden zur Erfassung dieser Prozesse hat sich in letzter Zeit die direktionelle Doppler-Sonographie besonders bewährt. Dieses Verfahren erlaubt als einziges die perkutane Bestimmung der Blutströmungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung in einzelnen Gefäßen. Allerdings ist z. Zt. nur eine qualitative Beurteilung der Strömungsgeschwindigkeit möglich.

Eine wesentliche Begrenzung der diagnostischen Aussagemöglichkeit der Doppler-Sonographie wird in der Schwierigkeit gesehen, einzelne Halsarterien sicher zu identifizieren [1, 10, 11, 13]. Die Diagnostik von Verschlüssen und Stenosen der A. carotis interna war deshalb im wesentlichen auf die von Müller [12] angegebene Beschallung eines Ophthalmicaastes, der A. supratrochlearis, beschränkt. Damit läßt sich für Interna-Verschlüsse und höhergradige Stenosen zwischen Bifurkation und Ophthalmicaabgang eine Trefferquote von mehr als 80% erreichen [2, 6, 7].

Der Erweiterung der Karotisdiagnostik und der Anwendung der Doppler-Sonographie für die A. vertebralis stehen die genannten Unsicherheiten der Identifikation dieser Arterien im Wege. Planiol & Pourcelot [14, 15, 16] haben zuerst erwähnt, daß eine Differenzierung der Aa. carotis communis, interna und externa bei Beschallung dieser Gefäße am Hals durch ihre verschiedenen Strömungscharakteristika möglich wäre, aber noch keine Ergebnisse über die Validität mitgeteilt. Wir haben diese direkte Identifizierung der Halsgefäße systematisch untersucht, mit der indirekten Supratrochlearis-Methode verglichen und an einem angiographisch kontrollierten Krankengut überprüft. Die Ergebnisse werden in drei Arbeiten dargestellt.

In dieser Arbeit wird zunächst die für die Diagnostik notwendige Differenzierung der Halsgefäße einschließlich der A. vertebralis anhand ihrer verschiedenen Strömungsprofile behandelt.

In der darauffolgenden Arbeit wird besprochen, welchen diagnostischen Fortschritt die direkte Doppler-Sonographie der hirnversorgenden Halsarterien gegenüber der bislang durchgeföhrten indirekten Methode an der A. supratrochlearis bringt. Neben einer sicheren Diagnose und Lokalisation des Strömungshindernisses ermöglicht die direkte Methode eine bessere Unterscheidung zwischen Verschlüssen und Stenosen der A. carotis interna, die bei der indirekten Beschallung der A. supratrochlearis allein nicht möglich ist.

In der letzten Arbeit werden bisherige Ergebnisse der Diagnostik von Strömungsbehinderungen im Vertebralis-Kreislauf dargestellt und Anlageanomalien, Stenosen und Verschlüsse der A. vertebralis mit dem Subclavian-Steal-Syndrom besprochen.

METHODIK UND GRUNDLAGEN

Die Untersuchungen wurden mit einem direktionellen Doppler-Ultraschallgerät (Débitmètre Ultrasonique Directionelle der Firma Delalande) durchgeführt. Bei diesem Gerät erfolgt die Schallemission der Sonde kontinuierlich mit 4 MHz; der Schallstrahl ist nicht fokussiert. Die 3 dB Grenze für den Tiefpaßfilter des Gerätes beträgt 7 Hz. Die hohen Frequenzanteile der Pulskurve werden somit nicht adäquat wiedergegeben. Aus diesem Grunde und weil der Beschallungswinkel (Stellung der Schallsonde zur Gefäßachse) bei perkutaner Beschallung nicht genau bekannt ist, läßt sich kein absoluter Betrag der Blutströmungsgeschwindigkeit angeben. Untersuchungstechnik und theoretische Grundlagen der Ultraschall-Doppler-Sonographie sind andernorts ausführlich beschrieben [6, 12, 17, 19].

Bei 300 Gesunden und Patienten, bei denen kein Hinweis für eine stenosierende Erkrankung der extrakraniellen Hirngefäße vorlag, wurde die in den Ergebnissen beschriebene Differenzierung der Halsgefäße durchgeführt. Außerdem wurde in einzelnen Fällen die A. radialis am distalen Unterarm und die V. cubitalis im Bereich der Ellenbeuge beschallt, um den Einfluß einer Strömungsbehinderung oder Erhöhung des peripheren Strömungswiderstandes auf die Blutströmungsgeschwindigkeit zu untersuchen. In allen Fällen wurden die Doppler-Pulskurven bei konstanter Signalverstärkung mit einem 4-Kanal-Direktschreiber (Cardirex, Fa. Siemens) registriert. Mit einer Fußtaste konnte die Dauer der Kompressions- und Funktionstests zur Identifizierung einzelner Gefäße (s. Ergebnisse) markiert werden.

ERGEBNISSE

I. Die Beeinflussung der Strömungsgeschwindigkeit durch Änderung des Gefäßradius

Das wesentliche Problem bei Beschallung der Halsgefäße ist die Unterscheidung zwischen der A. carotis interna und den Ästen der A. carotis externa, da die gegenseitige Lage dieser Gefäße variabel ist [4, 5]. Eine Änderung der gemessenen Strömungsgeschwindigkeit ist, entsprechend den physikalischen Gesetzen der Blutströmung, zu erwarten, wenn der periphere Strömungswiderstand durch Kompression im peripheren Gefäßverlauf oder Kontraktion des versorgten Muskels verändert wird. Diese Möglichkeit der Identifizierung ergibt sich nur für die A. carotis externa und ihre Äste. Es wurde demnach, zunächst am Modell der A. radialis untersucht,

1. welchen Einfluß eine Erhöhung des peripheren Strömungswiderstandes auf die Blutströmungsgeschwindigkeit hat und
2. welche Änderung der Blutströmungsgeschwindigkeit im Bereich einer Lumeneinengung des Gefäßes (Stenose) auftritt.

A. Änderung des Gefäßradius distal der Ableitestelle: Die mittlere Blutströmungsgeschwindigkeit (\bar{v}) ist direkt proportional dem Druckgefälle (ΔP) und der zweiten Potenz des Gefäßradius (r^2) und umgekehrt proportional der Viskosität des Blutes (η) und der Länge des Gefäßes (l):

$$\bar{v} = \frac{\Delta P \cdot r^2}{8 \eta l}$$

Bei stenosierenden Gefäßprozessen wirkt sich somit im wesentlichen die Änderung des Gefäßradius auf die Strömungsgeschwindigkeit aus, wenn sie im Gefäßverlauf vor der Strömungsbehinderung bestimmt wird. Darüber hinaus können Änderungen des Druckgefälles als Funktion des peripheren Strömungswiderstandes auftreten. Der Einfluß dieser beiden Variablen auf die durch die Dopplerpulskurven approximativ wiedergegebenen Strömungsgeschwindigkeiten sind in Abbildung 1 dargestellt.

Sie zeigt in A die Dopplerpulskurven einer normalen A. radialis, registriert 5 cm proximal des Handgelenkes. Das Dopplergerät war so gepolt, daß die Blutströmung von der Schallsonde weg einen Ausschlag nach oben, auf die Schallsonde hin einen Ausschlag nach unten ergab.

Der Abstand des Fußpunktes der Pulskurven zur Null-Linie (Strömungsgeschwindigkeit 0) zeigt die enddiastolische Strömungsgeschwindigkeit, das Kurvenmaximum die systolische Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit an. Wie später im einzelnen dargestellt, ist das Verhältnis von systolischer und diastolischer Strömungsgeschwindigkeit ein wichtiges Kriterium zur

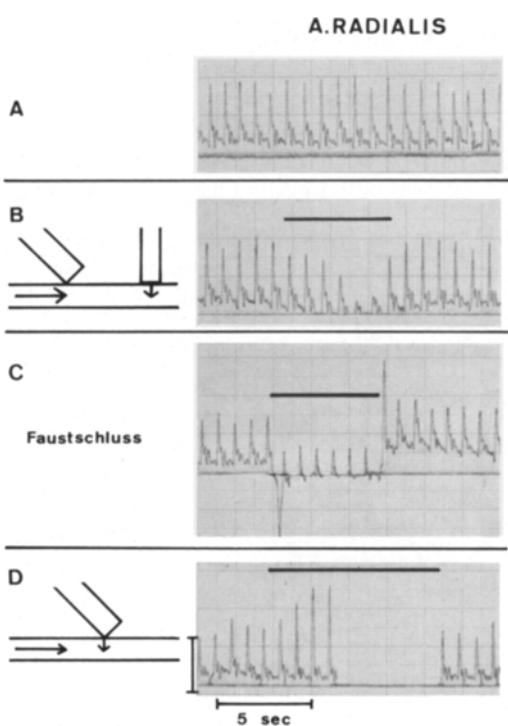


Abb. 1. A-D. Doppler-Puls-kurven der A. radialis.
 (A) Fortlaufende Registrierung der normalen Strömungsprofile.
 (B) Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit bei Kompression des Gefäßes 4 cm peripher der Schallsonde. (C) Änderung der Strömungsgeschwindigkeit und -richtung bei Schließen und Öffnen der Faust. (D) Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit bei zunehmender Kompression des Gefäßes mit der Schallsonde. Weitere Erklärungen siehe Text. Dauer der Gefäßkompression und des Faustschlusses durch Balken über den Pulskurven markiert. Registriergeschwindigkeit: 5 mm/sec. Ordinate: Standard-Eichsignal des Gerätes. Die durchgezogene Linie unter den Doppler-Kurven entspricht der Strömungsgeschwindigkeit 0

Charakterisierung arterieller Gefäße [16, 18]. In Abbildung 1 B und C ist zunächst der Einfluß der Änderung des Gefäßradius distal der Ableitestelle dargestellt. Mit zunehmender Einengung des Lumens 4 cm distal der Ableitestelle (Abb. 1B) nimmt die Strömungsgeschwindigkeit ab. Ein entsprechender Effekt ist bei Erhöhung des peripheren Widerstandes durch Muskelkontraktion (rascher Faustschluß; Abb. 1C) zu erreichen, wobei es hier nach Wiederöffnen der Strombahn (Faust auf) zu einem Anstieg besonders der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit kommt, bedingt durch erhöhten pCO₂ mit Gefäßweiterung und peripherer Widerstandsminde rung.

B. Änderung des Gefäßradius im Ableitebereich. In Abbildung 1 D ist eine Situation dargestellt, die von den beiden vorherigen prinzipiell zu unterscheiden ist. Es handelt sich um Änderung des Gefäßradius im Beschallungsbereich selbst. Diese Situation entspricht der Beschallung einer Stenose. Entsprechend dem Bernouille'schen Gesetz ist die lokale Strömungsgeschwindigkeit an engen Stellen einer Röhre größer als an weiten. Dies ist in Abbildung 1 D veranschaulicht. Lokale Kompression der Arterie durch die Schallsonde führt bei konstanter Schallachse zu einer Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit im Stenosebereich, bis der völlige Verschluß zum Sistieren der Strömung führt.

II. Identifizierung der arteriellen Halsgefäße

A. A. carotis communis. Die dopplersonographische Darstellung der A. carotis communis gelingt wegen ihrer definierten Lage ohne Schwierigkeiten. Abbildung 2 C zeigt die Schallkopfposition und eine typische Registrierung der Dopplerpulskurven dieses Gefäßes bei einer 32-jährigen Gesunden.

Im Normalfall liegen die Fußpunkte der Kurven über der Nulllinie, d.h., es ist eine deutliche diastolische Strömungsgeschwindigkeit nachweisbar. Diese nimmt mit zunehmendem Alter ab [18, 20]. Akustisch ist das Strömungssignal von der A. carotis communis durch ein "rauhes" Geräusch charakterisiert. Eine Verwechslung mit der A. thyreoidea inferior, anderen Ästen des Truncus thyrocervicalis und der A. vertebralis vor Eintritt in die Foramina transversaria kann durch kontinuierliche Kranialverschiebung der Schallsonde von supraklavikulär bis zum Übergang in die A. carotis interna und A. carotis externa mit ihren typischen Dopplersignalen (s. unten) vermieden werden. Durch Kompression eines Externaastes wird die Pulskurvenamplitude nicht oder kaum beeinflußt (Abb. 2C).

B. A. carotis interna. Nach autoptischen Befunden [4, 5] zeigen die A. carotis interna und A. carotis externa an der Bifurkation und auch in ihrem weiteren Verlauf eine erhebliche Variabilität ihrer gegenseitigen Lage. Eine Identifizierung der A. carotis interna allein anhand ihrer Position ist daher nicht möglich.

Die typischen Doppler-Pulskurven dieses Gefäßes zeigt Abbildung 2B. Charakteristisch ist eine relativ geringe Modulation der systolischen und hohe diastolische Strömungsgeschwindigkeit, die typisch für ein hirnversorgendes Gefäß mit geringem peripheren Widerstand ist. Akustisch imponiert das Strömungssignal als ein relativ hochfrequentes Zischen, das

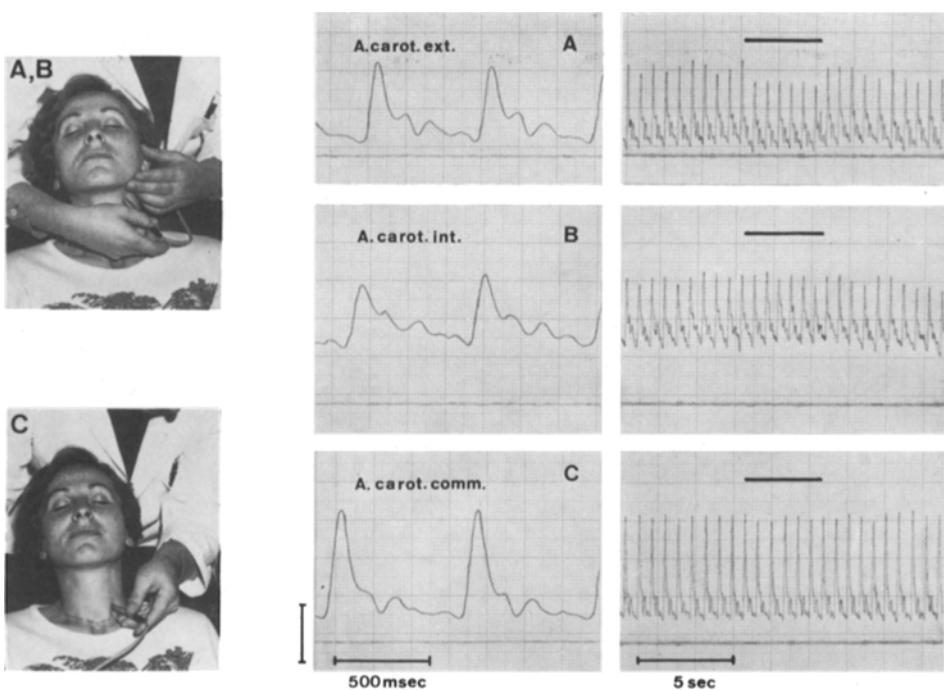


Abb. 2. A-C. Schallkopfposition und Doppler-Pulskurven bei Beschallung der linken A. carotis externa (A), interna (B) und communis (C) bei einer gesunden Versuchsperson. Dauer der Kompression der A. temporalis superficialis und A. facialis ist durch Balken über den Pulskurven markiert. Ein deutscher Kompressionseffekt ist nur bei Beschallung der A. carotis externa zu sehen (A). Papiergeschwindigkeit: 50 mm/sec (links) und 5 mm/sec (rechts). Die durchgezogene Linie unter den Pulskurven entspricht der Strömungsgeschwindigkeit 0

sich deutlich von dem rauen Geräusch der A. carotis communis unterscheidet. In Abbildung 3B ist die typische Änderung der Doppler-Pulskurven bei Kranialverschiebung der Schallsonde von der A. carotis communis auf die A. carotis interna dargestellt.

Neben dem charakteristischen Strömungsprofil ist die A. carotis interna dadurch zu identifizieren, daß sie durch Kompression der Externaäste nicht wesentlich beeinflußbar ist. Lediglich eine leichte Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit durch Kompression von Externa-Ästen kann gelegentlich nachgewiesen werden. Durch Erhöhung des peripheren Widerstandes bei Kompression der A. supratrochlearis und A. supraorbitalis (fronto-orbitale Endäste der A. ophthalmica) erfolgt keine Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit.

Daraus folgt, daß ein Strömungssignal, das über der Karotisbifurkation nach kranial zu verfolgen ist und keine Beeinflussung durch Kompression von Externa-Ästen zeigt (Abb. 2B), der A. carotis interna zuzuordnen ist.

Bei 84% der Normalpersonen war die Beschallung der A. carotis interna

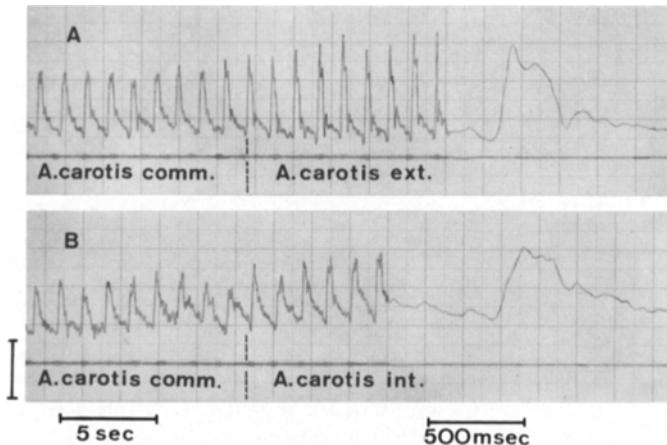


Abb. 3. A und B. Änderung der Doppler-Pulskurven bei kontinuierlicher Verschiebung der Schallsonde von der A. carotis communis auf die A. carotis externa (A) und A. carotis interna (B). Papiergeschwindigkeit: 5 mm/sec (links), 50 mm/sec (rechts). Ordinate: Nicht kalibrierte Signalverstärkereinheit. Durchgezogene Linie unter den Pulskurven = Strömungsgeschwindigkeit 0

bereits an der Karotisbifurkation möglich, immer in ihrem weiteren Verlauf bis submandibulär, meist lateral der A. carotis externa.

C. A. carotis externa. Die Aufzweigungen der A. carotis externa nach der Karotisbifurkation machen im mittleren und kranialen Halsdrittel die Unterscheidung mehrerer Gefäße notwendig. Abbildung 4 zeigt halbschematisch den Verlauf der Externa-Äste. Die Doppler-Pulskurven der A. carotis externa und ihrer Äste sind durch eine relativ hohe systolische und geringe diastolische Strömungsgeschwindigkeit charakterisiert (haut- und muskelversorgende Gefäße). Akustisch imponiert das Strömungssignal als "peitschendes" Geräusch, das beim Hochschieben der Schallsonde von der A. carotis communis auf die A. carotis externa übergangslos auftritt. Dies zeigt Abbildung 3 A. Hierdurch ist die Karotisbifurkation dopplersonographisch im Normalfall regelmäßig und exakt zu lokalisieren.

Wie am Beispiel der A. radialis (s. Abb. 1) gezeigt, lässt sich die Doppler-Pulskurve einer Arterie durch Erhöhung des peripheren Widerstandes durch Kompression oder Muskelkontraktion des versorgten Muskels in charakteristischer Weise verändern. Bei Beschallung der A. carotis externa sind demnach derartige Effekte durch Kompression leicht zugänglicher Äste (A. temporalis superficialis, A. facialis und A. occipitalis) zu erwarten und, wie in Abbildung 2A dargestellt, möglich. Hier kam es durch gleichzeitige Kompression der A. temporalis superficialis (vor dem Ansatz der oberen Ohrmuschel) und A. facialis (im Verlauf über den Unterkiefer) zu einer leichten Abnahme der systolischen und diastolischen Strömungsgeschwindigkeit, wobei letztere nach Öffnen der Kompression deutlicher zunahm. In dieser Situation wurde der Externa-stamm knapp distal der Bifurkation angeschallt. Die geringe Beeinflussbar-

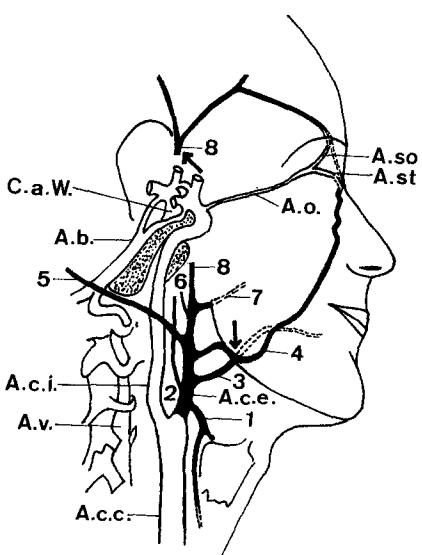


Abb. 4. Halbschematische Darstellung der Äste der A. carotis externa. 1.: A. thyreoidea superior.
2.: A. pharyngea ascendens.
3.: A. lingualis. 4.: A. facialis.
5.: A. occipitalis. 6.: A. auricularis posterior. 7.: A. maxillaris.
8.: A. temporalis superficialis.
Die Pfeile weisen auf die Kompressionspunkte der A. temporalis superficialis und A. facialis hin.
Die wesentlichen physiologischen Anastomosen zwischen der A. carotis interna (A. c. i.) und A. carotis externa (A. c. e.) und zwischen der A. carotis interna und dem Circulus arteriosus Willisii (C. a. W.) sind eingezzeichnet.
A. v. = A. vertebralis, A. b. = A. basilaris, A. o. = A. ophthalmica,
A. so. = A. supraorbitalis und A. st. = A. supratrochlearis

keit des Strömungssignals ist durch die "offene Strombahn" der übrigen Äste erklärt. Bei Kranialverschiebung der Schallsonde sind, wie in Abbildung 5 zusammenfassend dargestellt, einzelne Externa-Äste isoliert zu beschallen.

D. Die Äste der A. carotis externa. Die A. thyreoidea superior biegt kurz nach ihrem Abgang aus der A. carotis externa nach kaudal um, verläuft medial der A. carotis communis (s. Abb. 4) und ist allein aus der Strömungsrichtung zu identifizieren. Abbildung 5 A zeigt links die Doppler-Pulskurve der A. carotis communis und den Effekt bei Medialverschiebung der Schallsonde auf die A. thyreoidea superior und den Effekt bei breiter Kompression der Schilddrüse. Hierbei kommt es zu einer deutlichen Abnahme der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit.

Die A. lingualis (Abb. 5B), die medial des Externa-Stammes isoliert beschallt werden kann, wird durch Anpressung der Zungenspitze gegen den harten Gaumen bei entspannter Kaumuskulatur erkannt. Der Effekt entspricht dem der A. radialis bei Faustschluß. (vgl. Abb. 1C). Nach Ende des Anpressens kommt es zu einer besonders starken Zunahme der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit.

Die A. facialis wird durch ihre Kompression über dem Unterkiefer (vor dem Kieferwinkel) identifiziert (Abb. 5 C). Sie wurde in ihrem Verlauf gegen den Unterkiefer beschallt. Hieraus erklärt sich der Ausschlag der Pulskurven nach unten (Bewegung der Blutkörperchen auf die Schallsonde zu).

Die dünne A. pharyngea ascendens versorgt die obere Schlundmuskulatur.

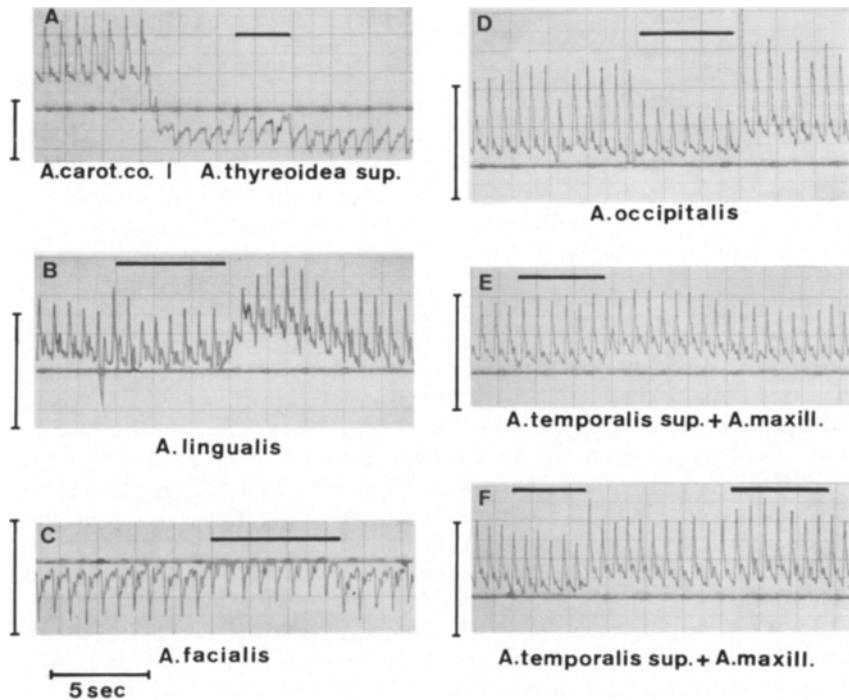


Abb. 5. A-F. Doppler-Pulskurven bei selektiver Beschallung von Ästen der A. carotis externa. Dauer der Gefäßkompression oder der Muskelkontraktion durch Balken über den Pulskurven markiert. Durchgezogene Linie = Strömungsgeschwindigkeit 0. Papiergeschwindigkeit: 5 mm/sec. Vertikale Linie: Amplituden - Eichmarke des Gerätes. Weitere Erklärungen siehe Text

Nach Schlucken kommt es in diesem Gefäß zu einem deutlichen Anstieg der diastolischen Strömungsgeschwindigkeit. Der Effekt ist hier nicht gezeigt, da Schlucken zu einer erheblichen Dislokation der Gefäße und damit der Schallkopfposition führt. Hier ist die akustische Information wesentlich.

Die in Richtung des Mastoidfortsatzes verlaufende A. occipitalis wird durch breite Kompression hinter dem Ansatz des M. sternocleido-mastoideus erkannt (Abb. 5 D). Im weiteren Verlauf der A. carotis externa ist die isolierte Beschallung des gemeinsamen Stammes der A. maxillaris und A. temporalis superficialis möglich. Die Erkennung erfolgt durch Kontraktion der Masseteren (Zusammenbeißen der Zähne, Abb. 5 E) oder durch Kompression der A. temporalis superficialis vor dem Ansatz der oberen Ohrmuschel (Abb. 5 F, links). Kompression der A. facialis (Abb. 5 F, rechts) hat hier eine leichte Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit zur Folge. Die selektive Beschallung der A. maxillaris ist wegen ihres konstanten Abgangs hinter dem Collum mandibulae nicht möglich.

Alle Externa-Äste im Normalfall zu identifizieren, ist zeitaufwendig und unnötig. Wichtig ist, daß die A. carotis externa im Bereich der Karotisbifurkation eindeutig identifiziert werden kann, was regelmäßig

durch Kompression der A. temporalis superficialis und A. facialis gelingt (s. Abb. 2 B). Die Identifikation einzelner Externaäste ist nur in pathologischen Fällen notwendig, da sich bei Verschlüssen der Karotiden bzw. Vertebralarterien über die Aa. facialis, temporalis superficialis, maxillaris und occipitalis Kollateralkreisläufe zur Hirnversorgung bilden können.

Die A. thyreoidea superior und A. lingualis können mit der A. carotis interna verwechselt werden, da die routinemäßig angewandte Kompression der Aa. temporalis superficialis und A. facialis nicht die Strömungsgeschwindigkeit dieser Gefäße beeinflußt. Die beschriebenen Funktionstests sind daher gelegentlich wichtig.

E. A. vertebralis. Abbildung 6 A zeigt die Schallkopfposition (zwischen Altasquerfortsatz und Mastoidspitze) und typische Doppler-Pulskurven der A. vertebralis bei Beschallung ihrer Atlasschlinge. Transoral [8] wurde sie nicht untersucht. Die registrierte Strömungsrichtung ist davon abhängig, welcher Anteil der Atlasschlinge beschallt wird. Meist findet sich bei leicht nach ventral und kranial gerichteter Position eine Strömung von der Schallsonde weg (Ausschlag der Kurve nach oben). Verglichen mit der A. carotis interna zeigt die typische Doppler-Pulskurve der A. vertebralis eine geringere systolische Amplitudenmodulation und einen mehr kontinuierlichen Abfall der Strömungsgeschwindigkeit während der Diastole. Akustisch imponeert das Signal als wenig frequenzmoduliertes, "weiches Zischen". Eine Verwechslung mit der A. carotis interna ist bei der genannten Schallkopfposition praktisch nicht möglich. Im Zweifelsfall kann verwertet werden, daß das Signal nicht nach kranial oder kaudal zu verfolgen ist und schon bei leichter Kippung der Schallsonde eine Umkehrung der Strömungsrichtung auftritt. Im Bereich der genannten Ableitestelle der A. vertebralis verläuft auch die A. occipitalis. Die Differenzierung von diesem Gefäß gelingt durch leichten Druck mit der Schallsonde, wobei das Strömungssignal

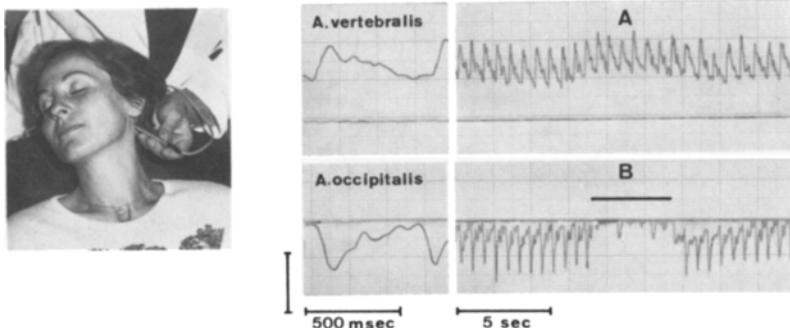


Abb. 6. A und B. Schallkopfposition und Doppler-Pulskurven der A. vertebralis (A) und A. occipitalis (B). Balken über der Pulskurve in B zeigt die Dauer der Kompression der A. occipitalis mit der Schallsonde an. Durchgezogene Linie = Strömungsgeschwindigkeit 0. Papiergeschwindigkeit: links 50 mm/sec, rechts 5 mm/sec

der A. occipitalis verschwindet (Abb. 6B). Häufig kann durch starken Druck mit der Schallsonde auch das Signal der A. vertebralis unterdrückt werden. Die sichere Unterscheidung dieser beiden Gefäße gelingt durch breite Kompression der A. occipitalis wenige Zentimeter occipital der Ableitestelle.

III. Die Untersuchung venöser Halsgefäße

Bei Beschallung venöser Gefäße finden sich nur geringe Amplitudenänderungen des Strömungssignals. Prinzipiell ergeben sich somit keine Schwierigkeiten der Unterscheidung von arteriellen Gefäßen. Abbildung 7 zeigt im rechten Teil das typische Signal von der V. jugularis interna, abgeleitet nach Lateralverschiebung der Schallsonde, ausgehend von supraklavikulärer Beschallung der A. carotis communis (Abb. 7, linker Teil). Bei starkem Pressen mit intrathorakaler Drucksteigerung (Valsalva-Versuch) kommt es zu einem weitgehenden Sistieren der Strömung. Hierdurch, oder durch tiefe Inspiration, ist auch unabhängig von der Strömungsrichtung die sichere Unterscheidung einer Vene von einer Arterie möglich.

Weitere venöse Halsgefäße wurden nicht berücksichtigt, da sie nur von untergeordneter Bedeutung sind. Störende Strömungssignale von oberflächlich gelegenen Venen können durch leichten Druck mit der Schallsonde unterdrückt werden.

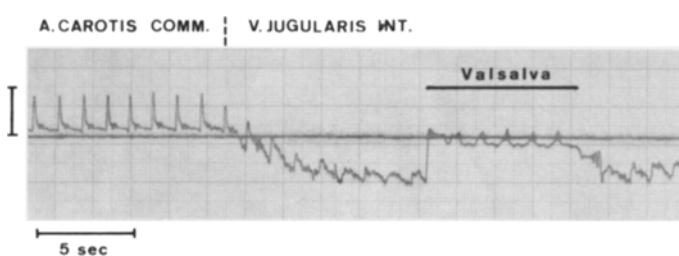


Abb. 7. Die Änderung der Doppler-Pulskurven und Strömungsrichtung bei sukzessiver Lateralverschiebung der Schallsonde von der A. carotis communis (links, supraklavikulär) auf die V. jugularis interna wird fortlaufend dargestellt. Balken über den Doppler-Kurven zeigten die Dauer des Valsalva-Versuchs an. Weitere Erklärungen siehe Text. Papierge- schwindigkeit: 5 mm/sec

IV. Konstanz der selektiven Beschallung der extrakraniellen Hirnarterien und Zeitaufwand

Nach den Untersuchungen an 300 Gesunden und Patienten ohne stenosierende Gefäßerkrankung war die diagnostisch wichtige Unterscheidung der A. carotis interna und A. carotis externa in 96% der Fälle ohne Schwierigkeiten oder größeren Zeitaufwand möglich. Die Differenzierung dieser Gefäße, die oft allein anhand der typischen Geräuschcharakteristika und Doppler-Pulskurven möglich ist, galt als gelungen, wenn distal der Karotisbifurkation an mindestens einer Ableitestelle die A. carotis interna und A. carotis externa selektiv beschallt werden konnten. Bei 4% der Fälle dauerte die Differenzierung länger als 5 Minuten. Dies waren entweder übergewichtige oder unruhige Patienten.

Auch die Vertebralarterien waren in allen Fällen anhand der oben beschriebenen Kriterien auffindbar. Allerdings dauerte in 11% der Fälle das Auffinden länger als 5 Minuten, wobei insgesamt die Dauer der Identifizierung der Karotiden und Vertebralarterien mit zunehmender Erfahrung deutlich abnahm. Das Auffinden der genannten Arterien auf einer Seite beanspruchte bei ausreichender Erfahrung nicht mehr als 3 Minuten.

In allen Fällen wurden die Doppler-Pulskurven mit einem Direktschreiber bei gleicher Verstärkung aufgezeichnet. Auf eine quantitative Auswertung wurde aus den bereits angeführten Gründen verzichtet. Normwerte für Pulskurvenamplituden sind unter pathologischen Bedingungen nicht zu gebrauchen und somit ohne praktischen Wert. Wesentlich sind Seitendifferenzen der Amplitude des Doppler-Signals. Sie können beim Normalen bis zu 40% betragen. Dies stimmt mit den Erfahrungen anderer Autoren überein [2, 9, 20].

DISKUSSION

Die Untersuchungen zeigen, daß sich die diagnostisch wesentlichen extrakraniellen Hirnarterien perkutan mit der direktionellen Ultraschall-Doppler-Sonographie regelmäßig und ohne größeren Zeitaufwand identifizieren lassen. Dies gilt auch für die diagnostisch besonders wichtige Unterscheidung der A. carotis interna und A. carotis externa im Bereich der Karotisbifurkation. Nach autoptischen Befunden [4, 5] war eine häufige Überlagerung dieser beiden Gefäße mit entsprechenden Schwierigkeiten bei der Be- schallung zu erwarten.

Überraschenderweise konnte aber die A. carotis interna im Bereich der Bifurkation in mehr als 80% der Fälle ohne wesentliche Überlagerung durch das Strömungssignal der A. carotis externa beschallt und in ihrem weiteren Verlauf (meist lateral der A. carotis externa) bis submandibulär verfolgt werden. Im Normalfall sind die Geräusch und Pulskurven der A. carotis interna und A. carotis externa derart charakteristisch, daß die in den Ergebnissen beschriebenen Kompressions- und Funktions- tests zur Unterscheidung nicht nötig sind. Somit besteht Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Planiol & Pourcelot [16, 18]. Die Identifizierung einzelner Äste der A. carotis externa wird erst bei Vorliegen einer Strömungsbehinderung bedeutsam. Hier ist eine exakte Abgrenzung einzelner Arterien nötig.

Durch die Untersuchung der Halsarterien sind bei ausreichender methodischer Erfahrung und Kenntnis der anatomischen und haemo-

dynamischen Grundlagen Lokalisation und Ausmaß einer Strömungsbehinderung beurteilbar. Die dopplersonographische Unterscheidung zwischen Stenose und Verschluß wird dadurch erst möglich. Die dargelegten Differenzierungskriterien der Halsgefäße im Normalfall sind die methodische Grundlage für die Doppler-Untersuchungen unter pathologischen Bedingungen, wie sie in den nachfolgenden Arbeiten beschrieben werden.

Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereiches "Hirnforschung und Sinnesphysiologie" (SFB 70) durchgeführt.

Für die technische Hilfe danken wir Frau Teklenborg und Frau Andris.

LITERATUR

1. Brismann, R., Grossmann, B. L., Corell, J. W.: Accuracy of transcutaneous Doppler ultrasonics in evaluating extracranial vascular disease. *J. Neurosurg.* 32, 529-533 (1970)
2. Büdingen, H. J., Hennerici, M., Voigt, K., Kendel, K., Freund, H.-J.: Die Diagnostik von Stenosen oder Verschlüssen der A. carotis interna mit der direktionellen Ultraschall-Doppler-Sonographie der A. supratrochlearis. *Dtsch. med. Wschr.* 101, 269-275 (1976)
3. Dorndorf, W., Gänshirt, H.: Die Klinik der arteriellen zerebralen Gefäßverschlüsse, in: Gänshirt, H. (Hrsg.): *Der Hirnkreislauf*. S. 512-629, Stuttgart: Georg Thieme 1972
4. Faller, A.: Zur Kenntnis der Gefäßverhältnisse an der Carotisteilungsstelle. *Schweiz. med. Wschr.* 76, 1156-1158 (1946)
5. Huebner, H. J.: Zum Verlauf der A. carotis interna im Bereich des Halses. *Anat. Anz.* 121, 489-496 (1967)
6. Keller, H., Baumgartner, G., Regli, F.: Carotisstenosen und -okklusionen. Diagnose durch perkutane Ultraschall-Doppler-Sonographie an der A. supraorbitalis und A. supratrochlearis. *Dtsch. med. Wschr.* 98, 1691-1698 (1973)
7. Keller, H., Baumgartner, G.: Doppler-Ultraschall-Sonographie: eine nichtbelastende Untersuchungsmethode zur Diagnostik und Therapiekontrolle von Karotisstenosen. *Schweiz. med. Wschr.* 104, 1281-1291 (1974)
8. 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)
9. Kendel, K., Warlo, C., Freund, H.-J.: Doppler-Sonographie des Carotissystems. Kongressband, 2. Jahrestagung der Dtsch. Arbeitsgemeinschaft f. Ultraschall-Diagnostik, Hannover 1974
10. Kriebel, J., Schurig, E.: Direktionelle Doppler-Sonographie bei Stenosen und Verschlüssen der A. carotis interna. *Med. Welt* 26, 2202-2204 (1975)
11. Mol, J. M., Frederix, L., Rijcken, W. J.: Doppler-Haematotachografisch Onderzoek bij Cerebrale Circulatiestoornissen. Pecasse-Eurozet, Maastricht 1973
12. Müller, H. R.: Direktionelle Doppler-Sonographie der Arteria

- frontalis medialis. EEG/EMG 2, 24-31 (1971)
- 13. Müller, H. R., Gonzalez, Jr., R. R.: Evaluation of cranial blood flow with ultrasonic Doppler techniques, in: de Vlieger, M., White, D. N., McCready, V. R. (eds.) Ultrasonics in Medicine, pp. 89-96, Amsterdam: Excerpta Medica 1974
 - 14. Planiol, Th., Pourcelot, L.: Etude des troubles de la circulation cérébrale par effet Doppler. Communication à la Société Suisse d'Angéologie. Genève 1972
 - 15. Planiol, Th., Pourcelot, L., Itti, R.: La circulation carotidienne et cérébrale. Nouv. Presse méd. 2, 2451-2456 (1973)
 - 16. Planiol, Th., Pourcelot, L.: Doppler effect study of the carotid circulation, in: de Vlieger, M., White, D. N., McCready, V. R. (eds.) Ultrasonics in Medicine, pp. 104-111, Amsterdam: Excerpta Medica 1974
 - 17. Pourcelot, L.: Nouveau débitmètre sanguin à effet Doppler, in: Proceedings of the 1st World Congress on Ultrasonics in Medicine, pp. 125-130, Wien: Verlag der Wiener Medizinischen Akademie 1969
 - 18. Pourcelot, L.: Applications cliniques de l'examen Doppler transcutane. Publ. présentée au. Sem. technol. Broussais 1974
 - 19. Satomura, S., Kaneko, Z.: Ultrasonic blood rheograph, in: Proceedings of the 3rd International Conference of Medical Electronics, pp. 254-258, London: I. E. E. 1960
 - 20. Warlo, C.: Doppler-sonographische Untersuchungen der A. carotis und A. frontalis medialis beim Menschen. Normwerte bei Gesunden in Abhängigkeit vom Lebensalter. Freiburg i. Br.: Med. Diss. 1975