

## Extrakranielle hirnversorgende Arterien

Die farbkodierte Duplexsonographie ist in den letzten Jahren zur Methode der ersten Wahl bei der Erkennung und Einteilung von Gefäßveränderungen im Bereich der extrakraniellen hirnversorgenden Arterien geworden. Die Beurteilung der Wand- und Plaquemorphologie und die plausible Bewertung des Stenosegrades in der Karotisstrombahn innerhalb desselben Untersuchungsganges haben zur hohen Akzeptanz farbduplexsonographischer Befunde beigetragen. Die Duplexsonographie ist dabei, die am häufigsten durchgeführte diagnostische Untersuchung an der A. carotis zu werden.

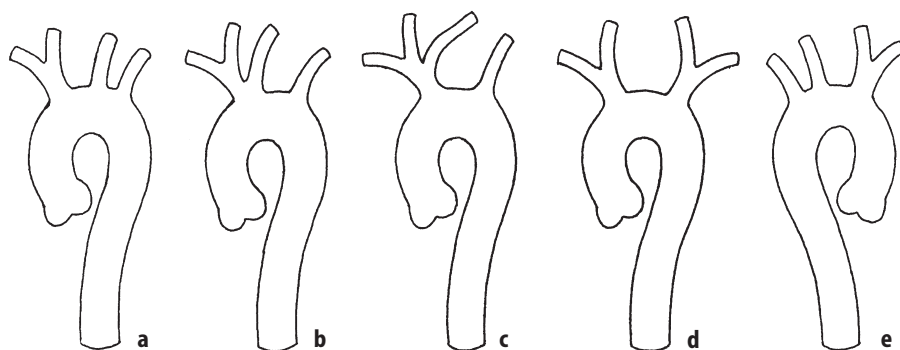
### 3.1 Normale Gefäßanatomie und wichtige Varianten

Der Aortenbogen beginnt hinter dem sternalen Ansatz der 2. Rippe und verläuft in einem nach kranial konvexen Bogen nach links hinten. Der Aortenbogen hat eine Länge von 5–6 cm und einen Diameter von 2–3 cm. Der Aortenbogen gibt 3 große supraaortale Arterien ab, den Truncus brachiocephalicus, die A. carotis communis sinistra und die A. subclavia sinistra. Zu den wichtigsten anatomischen Varianten der Abgänge der supraaortalen Arterien zählen (Abb. 3.1): Der gemeinsame Abgang des

Truncus brachiocephalicus mit der linken A. carotis communis aus dem Aortenbogen (Häufigkeit: 13–22 %; s. Abb. 3.1b, c); der rechte und linke Truncus brachiocephalicus (Häufigkeit: 1 %).

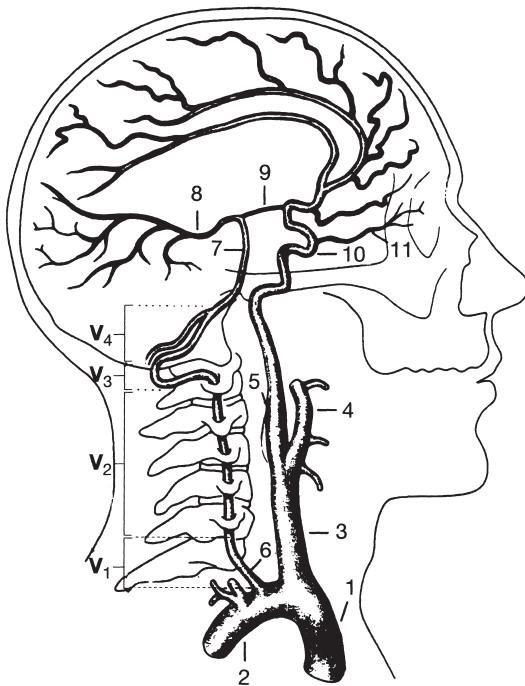
Das proximale Segment des *Truncus brachiocephalicus* wird von der linken V. brachiocephalica überkreuzt. Der Truncus brachiocephalicus hat eine Länge von 4–5 cm und teilt sich hinter dem rechten Sternoklavikulargelenk in die rechte A. subclavia und rechte A. carotis communis auf. Die linke A. carotis communis entspringt zwischen dem Truncus brachiocephalicus und der linken A. subclavia in Höhe des 6. Brustwirbelkörpers aus dem Aortenbogen.

Beide *Aa. carotides communes* verlaufen parallel zur und medial der V. jugularis interna. Die Karotisbifurkation befindet sich in der Regel in Höhe des 4.–5. Halswirbelkörpers (Abb. 3.2). Eine höhergelegene Karotisbifurkation ist bei kurzen Hälsen häufiger als bei langen. Der Abgang der A. carotis interna zeigt fast regelmäßig eine deutliche Dilatation des Gefäßlumens, die gelegentlich kurz vor der Bifurkation beginnen kann und die als Karotisbulbus bezeichnet wird. Der Diameter der A. carotis communis beträgt im Durchschnitt 7 mm. Bei älteren Leuten mit Bluthochdruck kommen gelegentlich Elongationen der A. carotis communis vor.



**Abb 3.1 a–e.** Die Abgänge der 3 supraaortalen Arterien und ihre anatomischen Varianten. **a** Normale anatomische Situation (Häufigkeit etwa 70 %). **b** Gemeinsamer Abgang des Truncus brachiocephalicus und der linken A. carotis communis aus dem Aortenbogen (13 %). **c** Abgang des Truncus communicans

persistens, der sich anschließend in den Truncus brachiocephalicus und in die linke A. carotis communis aufteilt (9 %). **d** Rechter und linker Truncus brachiocephalicus (1 %). **e** umgekehrter Aortenbogen mit linksseitigem Truncus (selten)

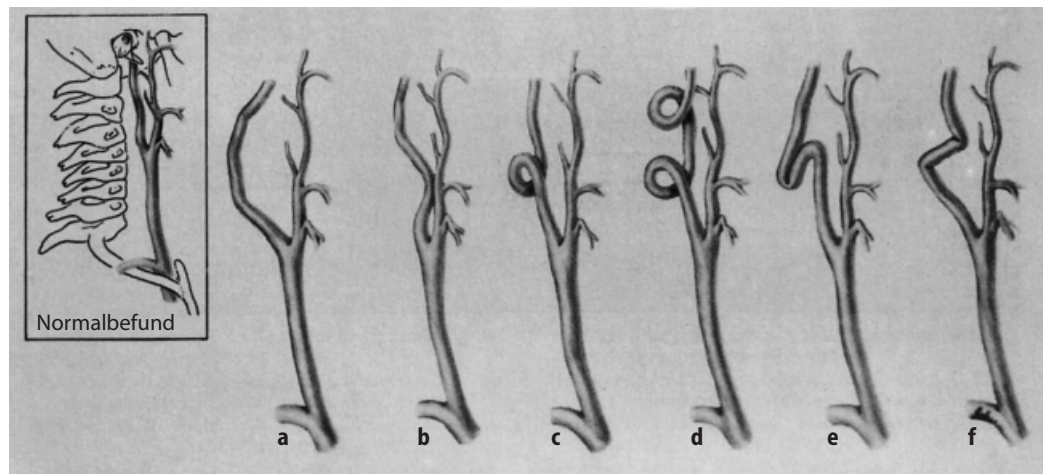


**Abb. 3.2.** Schematische Darstellung des Verlaufs der A. carotis und der A. vertebralis sowie ihrer größeren Äste auf der rechten Seite. Die A. vertebralis wird in 4 Segmente unterteilt: V<sub>1</sub>-V<sub>4</sub> (s. auch Text). 1 Truncus brachiocephalicus, 2 A. subclavia, 3 A. carotis communis, 4 A. carotis externa, 5 A. carotis interna, 6 A. vertebralis, 7 A. basilaris, 8 A. cerebri posterior, 9 Ramus communicans cerebri posterior, 10 Karotissiphon, 11 A. ophtalmica. (Nach Lanzer u. Yoganathan 1991)

**Abb. 3.3 a-f.** Wichtige Formen der Elongation und Schleifenbildung der A. carotis interna. **a** große C-förmige Elongation, **b** S-förmige Elongation, **c** Coiling, **d** Doppel-Coiling, **e** Kinking (Knickbildung), **f** Doppel-Kinking

Die kaliberstärkere A. carotis interna zieht in der Regel lateral von der A. carotis externa geradlinig zur Schädelbasis, ohne dabei Äste abzugeben. Als Normvariante kann die Arterie eine C- oder S-förmige Elongation bilden (Abb. 3.3). Eine 360°-Schleife des Gefäßes nennt man Coiling. Seltener kann auch ein scharfer Winkel, Kinking genannt, im Verlauf der A. carotis interna auftreten. Man nimmt an, dass dieses Kinking durch Bluthochdruck begünstigt und im Laufe des Lebens erworben wird. Dieses Kinking kann mit und ohne hämodynamisch wirksamer Stenose auftreten. Die A. carotis externa entspringt medial und anterior der A. carotis interna und teilt sich kurz nach ihrem Abgang in mehrere Äste auf: A. thyroidea superior, A. lingualis, A. facialis, A. pharyngea ascendens, A. occipitalis, A. auricularis posterior, A. temporalis superficialis und A. maxillaris.

Die A. vertebralis ist der 1. größere Ast der A. subclavia und entspringt aus dieser Arterie auf der rechten Seite ca. 1–2,5 cm und auf der linken Seite 4–7 cm distal des Subklaviaabgangs (s. Abb. 3.2). Für die duplexsonographische Untersuchung und Auswertung ist es nützlich, den Verlauf der A. vertebralis in 4 Segmente zu unterteilen: Das Vertebralis-1-(V<sub>1</sub>-)Segment befindet sich zwischen Vertebralisabgang und dem Eintritt in das Foramen transversarium in Höhe des 6. Halswirbels (90 %), viel seltener des 5. Halswirbels (5 %). Das V<sub>2</sub>-Segment entspricht dem interforaminären Abschnitt der A. vertebralis, d. h. dem Gefäßverlauf zwischen dem 2.–6. Halswirbelquerfortsatz. Das V<sub>3</sub>-Segment wird vom bogenförmigen Verlauf der Vertebralarterie um die Massa lateralis des Atlas (Atlasschleife) gebildet. Das V<sub>4</sub>-Segment entspricht schließlich dem intrakraniellen Verlauf der A. vertebralis. Varianten der A. vertebralis bzgl. Verlauf und Kaliberstärke sind häufig, in der Regel aber haben sie keine klinische Bedeutung. In 2/3 der Fälle ist die linke Vertebralarterie die Dominante. Die linke A. vertebralis kann gelegentlich (Häufigkeit 4–5 %) direkt aus dem Aortenbogen statt aus der A. subclavia entspringen (Lippert u. Pabst 1985).



### 3.2 Untersuchungstechnik und Dokumentation

Wegen der oberflächlichen Lage der Halsgefäße wird ein Linearschallkopf mit hoher Emissionsfrequenz (7,5–10 MHz) verwendet. Lediglich für die Untersuchung der Abgangsregion der A. vertebralis kann ein Sektor- oder besser ein Curved-array-Schallkopf mit 5–7,5 MHz benutzt werden. Bei der Untersuchung der hirnvorsorgenden Arterien wird der Patient in Rückenlage mit leicht überstrecktem Kopf untersucht. Die Halsgefäße werden im Längsschnitt so abgebildet, dass die kranialen Gefäßanteile links vom Betrachter und entsprechend die kaudalen Gefäßanteile rechts vom Betrachter zur Darstellung kommen.

#### 3.2.1 Untersuchungsablauf

##### Karotisstrombahn

Es sollte immer eine systematische laboreigene Reihenfolge der Untersuchung konsequent eingehalten werden, nicht zuletzt auch deshalb, um bei der Befundung Seitenverwechslungen zu vermeiden. Die Untersuchung beginnt mit der B-Bild-Darstellung des am meisten proximal am Hals zugänglichen Segmentes der A. carotis communis (ACC) und setzt sich unter kontinuierlichem Vorschub des Schallkopfs nach kranial über die Karotisbifurkation bis zum Unterkiefer fort. Diese Darstellung erfolgt *zunächst ohne Farbe* sowohl in der longitudinalen als auch in der transversalen Ebene, wobei ganz besondere Aufmerksamkeit der Beziehung zu den Nachbarorganen, dem Gefäßverlauf, dem Vorhandensein von Wandverdickungen, der Bestimmung von Plaqueausdehnung und der Plaquemorphologie gewidmet werden soll. Die Ausmessung der Intima-Media-Dicke und die Beurteilung von Plaques bzw. von Wandablagerungen und Stenosen sollte wegen der besseren Bildauflösung des reinen Schnittbildes bei geringeren Gefäßläsionen im reinen B-Bild erfolgen.

Anschließend wird der *Farbdoppler* dem B-Bild überlagert, und es wird die Hämodynamik in der Karotisstrombahn im allgemeinen und im Bereich von Läsionen im besonderen analysiert. Für jede Untersuchung ist die Geschwindigkeitsfarbskala so einzustellen, dass eine satte Farbkodierung in den Arterien ohne Aliasing (blaue Inseln innerhalb eines hellroten arteriellen Blutstromes) erzielt wird, d. h. die Einstellung erfolgt immer individuell. Besondere Aufmerksamkeit wird auf umschriebene Einengungen des farblichen Flussbildes, auf fokale Änderung der Farbsättigung und auf das Auftreten eines Farbmosaikbildes gerichtet.

Abschließend erfolgt die quantitative Messung der winkelkorrigierten Flussgeschwindigkeit durch Platzierung des Sample volumes nacheinander in der ACC, in

den Aa. carotis interna (ACI) und externa (ACE). Die hierfür notwendige Winkelkorrektur findet nach der abgebildeten Flussausrichtung statt und sollte immer  $<60^\circ$  betragen, da bei höheren Winkeln kleine Änderungen oder Unstimmigkeiten in der Korrektur große Messfehler zur Folge haben können. Ein Winkel von  $40\text{--}55^\circ$  zwischen Flussrichtung und Dopplerstrahl, der durch elektronische Kippung der gepulsten Dopplerlinie bei den meisten Geräten auch erzielt werden kann, ist zu empfehlen. Das gepulste Sample volume sollte in die Mitte des Gefäßes platziert werden. Im nichtpathologischen Fall werden die maximalen systolischen ( $V_{\max}$ ) und die enddiastolischen ( $V_{\min}$ ) Flussgeschwindigkeiten in der distalen ACC und in den ersten 2 cm der ACI gemessen.

##### A. vertebralis (AV)

Dank der Einführung der Farbduplexsonographie konnte sich die Untersuchung dieser Arterie in der Routinediagnostik etablieren (Trattnig et al. 1991; Bartels 1992; Bartels u. Flügel 1993). Nachdem die Untersuchung der Karotisstrombahn beendet ist, erfolgt die Darstellung der AV, die bevorzugt von vorne in der Parasagittalebene (d. h. in der a.-p.-Schallebene) durchgeführt wird, indem der im Längsschnitt aufgesetzte Schallkopf von der ACC leicht nach lateral verschoben wird, bis die Querfortsätze der Halswirbelkörper und im interforaminären Segment ( $V_2$ -Segment) die AV sichtbar werden. Da die mittleren Flussgeschwindigkeiten in der AV kleiner sind als die in der ACC, muss vor der Lateralverschiebung des Schallkopfes die Geschwindigkeitsskala der Farbdopplereinstellung reduziert werden: durch Zurücknehmen der Pulswiederholungsrate werden die örtliche Auflösung für langsamen Fluss verbessert und die Sensitivität für das Aufsuchen der AV erhöht. Zusätzliche Adjustierungen des Beschallungswinkels und des Farbfensters können für eine Flussdarstellung in der AV gelegentlich notwendig werden. Die AV stellt sich in der Regel in Begleitung von einer oder 2 Vertebralvenen dar. Wie bei der Karotisuntersuchung achtet man auch hier auf jede Änderung der Farbsättigung und auf das Auftreten eines Mosaikmusters. Außerdem achtet man darauf, dass die Flüsse in der AV und in der ACC die gleiche Richtung haben. Anschließend werden das Sample volume in das interforaminäre AV-Segment platziert und das Dopplerspektrum abgeleitet. Nach Winkelkorrektur, die auch im eingefrorenen Bild erfolgen kann, werden die  $V_{\max}$ ,  $V_{\min}$  und der Resistance-Index gemessen.

Anschließend wird der Schallkopf entlang des Gefäßverlaufs nach proximal bis zur Supraklavikulargrube geführt und die Abgangsregion der AV dargestellt. Manchmal ist ein leichtes Kippen des Schallkopfes nach medial erforderlich. Dabei werden die A. subclavia im Quer-

bis Diagonalschnitt abgebildet und die AV im Längsschnitt. Nach Platzierung des Messvolumens des gepulsten Dopplers in den Anfangsteil der AV werden Dopplerfrequenzspektren abgeleitet und nach Winkelkorrektur ( $< 60^\circ$ )  $V_{\max}$  und  $V_{\min}$  bestimmt. Um die Atlasschleife darzustellen, wird der Schallkopf unterhalb des Processus mastoideus positioniert und der Schallkopf auf das kontralaterale Auge ausgerichtet.

### 3.2.2 Schnittebenen

#### Karotisstrombahn

Die Darstellung der Karotis kann in vielen longitudinalen und einer transversalen Ebene erfolgen. Von den möglichen longitudinalen Schnittführungen seien hier die 3 wichtigsten genannt:

- die sagittale a.-p.-Ebene: von vorne zwischen Kehlkopf und M. sternocleidomastoideus,
- die strikt laterale Ebene: von der Seite durch den M. sternocleidomastoideus,
- die posterolaterale Ebene: Schallkopf hinter dem M. sternocleidomastoideus mit dem Kopf etwas mehr zur Gegenseite gedreht; die V. jugularis kommt in dieser Ebene vor der ACI, d.h. schallkopfnah zur Darstellung, was gelegentlich auch erwünscht sein kann.

Es sind natürlich auch Kombinationen zweier longitudinaler Ebenen möglich. Die Karotisarterien werden im Längsschnitt so abgebildet, dass die kranialen Gefäßanteile links vom Betrachter zur Darstellung kommen (Empfehlungen zur Qualitätssicherung 1999). Die Untersuchung sollte zumindest in einer longitudinalen und einer transversalen Ebene durchgeführt werden. Die posterolaterale Schnittführung hat den Vorteil, dass die ACI weiter nach kranial untersucht werden kann – auch hinter dem Kieferwinkel – als es in den anderen longitudinalen Ebenen möglich ist. Dies ist bei hoher Karotisbifurkation oder bei kurzen Hälsen hilfreich.

Wenn im Längsschnitt die *gleichzeitige Darstellung* der distalen ACC und der Abgänge der ACI und ACE *in einer Schnittebene* nicht möglich ist, sollte die ACC einmal zusammen mit der ACI und anschließend zusammen mit der ACE abgebildet werden. Ganz wichtig ist die Darstellung der Gefäßübergangsregion von der ACC zur ACI im Längsschnitt. Die optimale Gefäßeinstellung liegt in der longitudinalen Ebene dann vor, wenn sich die Arterienwände über die gesamte Breite des Monitors als Parallellinien abbilden lassen.

Die transversale Schnittführung erfolgt zunächst im B-Bild allein (ohne Farbe), und hilft in der Abbildung und Abgrenzung nichtstenosierender Plaques oder echoarmer Stenosen. In dieser transversalen Schnittführung sollte auch die Ausmessung der maximalen Pla-

quedicke erfolgen, um Über- oder Unterschätzungen, die im Längsschnitt auftreten können, zu vermeiden. Anschließend kann die Karotisstrombahn nach Einschalten der Farbe erneut im Querschnitt dargestellt werden, um atypische bogige Gefäßverläufe der ACC oder ACI besser zu erfassen. Die Farbdoppleruntersuchung in der Transversalebene erfordert eine leichte „dopplergerechte“ Kippung des Schallkopfes (Winkel ungleich  $90^\circ$ ) und eine Verminderung der Pulsrepetitionsfrequenz, um eine satte Farbkodierung der Gefäße zu erreichen. Auch kann in dieser Transversalebene die orientierende prozentuale Bestimmung des Stenosegrades (Flächenreduktion) vorgenommen werden.

#### A. vertebralis (AV)

Die AV wird sowohl in der Abgangsregion als auch im V<sub>2</sub>-Segment im Längsschnitt in der sagittalen (a.-p.-)Beschallungsebene von vorne dargestellt. Der Schallkopf wird im Longitudinalschnitt so gehalten, dass der distale, d.h. kraniale Gefäßabschnitt, vom Betrachter aus gesehen, links im Bild zur Darstellung kommt. In der longitudinalen Schnittführung werfen im V<sub>2</sub>-Segment die Querfortsätze der Halswirbelkörper in regelmäßigen Abständen ihre Schallschatten auf die AV, die folgerichtig nur interforaminär eingesehen werden kann. In der Abgangsregion wird der Schallkopf so aufgesetzt, dass die A. subclavia im Querschnitt oder, bei leicht nach medial gekipptem Schallkopf, im Diagonalschnitt dargestellt wird. In dieser Einstellung erscheint die AV in der Abgangsregion ebenfalls im Längsschnitt und erleichtert auf diese Weise die quantitative Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten. Schließlich wird auch der kraniale Abschnitt der AV (die Atlasschleife) durch Aufsetzen des Schallkopfes unterhalb des Processus mastoideus in Richtung auf das kontralaterale Auge im Längsschnitt dargestellt. Die transversale Schnittführung wird wenig, allenfalls zwecks Abgrenzung gegen die ipsilaterale ACC und ACI (Bestimmung des Abstands zwischen den Gefäßen) oder zwecks Dokumentation unterschiedlicher Strömungsrichtungen in der A. carotis und AV bei Verschlussprozessen der A. subclavia verwendet.

### 3.2.3 Dokumentation

**Normalbefund:** Einzeldokumentation von Aa. carotides communes, internae und externae sowie von Aa. vertebrales (mindestens V<sub>2</sub>-Abschnitt) und ggf. Aa. subclaviae im Längsschnitt und mit winkelnkorrigierten Geschwindigkeitsspektren.

**Stenose/Verschluss:** Zusätzliche Dokumentation aus dem gesunden und aus dem pathologischen Segment mit Strömungssignalen im Längsschnitt.



**Farbkodierung:** Dokumentation der Blutströmung in Farbe.

**Befundung:** Beschreibend oder anhand eines Gefäßschemas. Ausdehnung, Sonomorphologie von arteriosklerotischen Gefäßwandveränderungen, beinhaltend die Stenosegraduierung auf der Basis der mittels Doppleruntersuchung festgestellten systolischen und enddiastolischen Maximaldopplerfrequenzen bzw. der winkelkorrigierten Geschwindigkeiten und unter Berücksichtigung indirekter dopplersonographischer Kriterien (Empfehlungen zur Qualitätssicherung 1999, S. 177).

### 3.3 Messparameter und ihr diagnostischer Stellenwert

#### 3.3.1 Karotisstrombahn

Die bei der Farbduplexsonographie angewendeten Kriterien zur Diagnostik morphologischer und hämodynamischer Veränderungen der A. carotis konnten zum großen Teil von der konventionellen Schwarz-weiß-Duplexsonographie übernommen werden. Viele Studien hatten in den 80er Jahren, bevor die Farbduplexgeräte verfügbar waren, die diagnostische Güte und Treffsicherheit der konventionellen Duplexsonographie bei der Erfassung pathologischer Gefäßveränderungen der Karotisstrombahn im Vergleich zur Angiographie oder zum Operationspräparat untersucht (Blackshear et al. 1980; Fell et al. 1981; Reilly et al. 1983; Jacobs et al. 1985; Bluth et al. 1988; Gray-Weale et al. 1988; Widder et al. 1990). Diese Arbeiten beinhalten die Anwendung und Validierung sowohl von B-Bild-sonographischen Kriterien zur strukturellen (morphologischen) Charakterisierung von Plaques (Reilly et al. 1983; Gray-Weale et al. 1988; Widder et al. 1990) als auch von hämodynamischen Parametern zur Messung von Flussgeschwindigkeiten bzw. von Verhältniszahlen der Geschwindigkeiten („velocity ratios“) zur quantitativen Bestimmung der Diameterre-

duktion (Blackshear et al. 1980; Fell et al. 1981; Jacobs et al. 1985; Bluth et al. 1988). Die Farbduplexsonographie hat an diese Erkenntnisse angeknüpft, sie durch die ständig verbesserte Gerätetechnologie aktualisiert und vervollständigt.

#### Normalbefund

Der für die normale A. carotis interna (ACI) typische hohe diastolische Fluss kommt durch den niedrigen peripheren Strömungswiderstand im Gehirn zustande, der eine Perfusion auch bei niedrigem diastolischen Druck ermöglicht. Da im Gegensatz dazu die A. carotis externa (ACE) nur Muskel- und Hautgefäße, d.h. Gefäßgebiete mit hohem peripheren Strömungswiderstand versorgt, werden in dieser Arterie ein Blutstrom nur in der Systole und kein Fluss in der Diastole nachgewiesen. Ausnahmen bilden Hyperämiezustände der Gesichtshaut mit Schwitzen und Rötung; Fieber, hohe Außentemperaturen, Entzündungen im Gesichts- und äußeren Kopfbereich, oder pathologische arteriovenöse Anastomosen. Die Tabelle 3.1 fasst die Kriterien zur Differenzierung zwischen A. carotis interna und externa zusammen.

Das normale Dopplersignal der A. carotis communis (ACC) zeigt ein Mischbild aus ACI und ACE: Es hat eine etwas betonte systolische Spitze und einen im Vergleich zur ACI niedrigeren aber noch erhaltenen diastolischen Fluss. Für die Flussgeschwindigkeitsmessungen und die Berechnung abgeleiteter „ratios“ (s. weiter unten) ist die Erkenntnis wichtig, dass die systolische Geschwindigkeit in der ACC mit zunehmender Entfernung von der Karotisbifurkation, d.h. nach proximal hin, normalerweise zunimmt. Diese Zunahme beträgt bei gesunden jungen Probanden etwa 9 cm/s/1 cm Entfernung von der Gabel, und ist bis zu einem Abstand von 5 cm von der Bifurkation zu registrieren (Meyer et al. 1997). Sie kann den Wert der abgeleiteten Parameter für die Stenosegradbestimmung (s. u.) der ACI beeinflussen (Lee et al. 2000).

**Tabelle 3.1.** Kriterien zur duplexsonographischen Differenzierung zwischen A. carotis interna und externa mit abnehmender Zuverlässigkeit: je mehr Kreuze, um so zuverlässiger das Kriterium in physiologischen und pathologischen Situationen

Kriterium	A. carotis interna	A. carotis externa
Oszillierende Temporalis-Kompression (++++)	Rückschlageffekt im Doppler: NEIN	Rückschlageffekt im Doppler: JA
Dopplerkurve (++)	Niedrigwiderstandsfluss	Hochwiderstandsfluss
Äste (+)	Nein	Ja
Lumenkaliber (+)	Gewöhnlich größer	Gewöhnlich kleiner
Räumliche Orientierung (+/-)	Posterolateral	Anteromedial

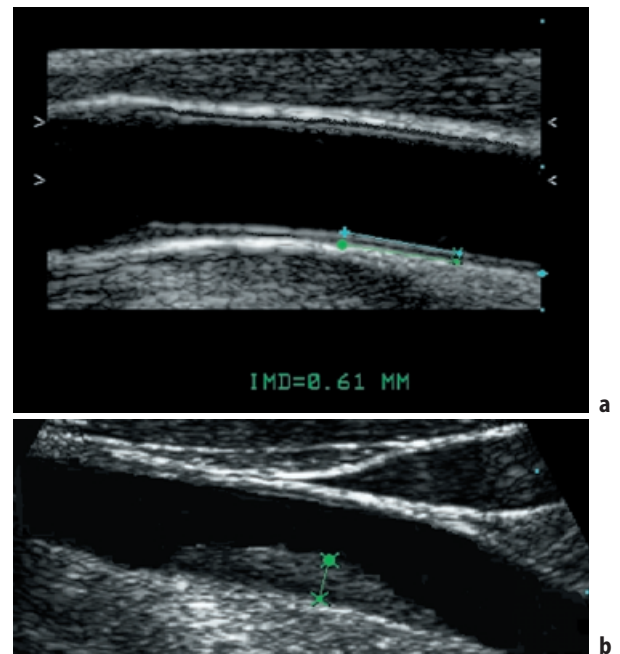
### Intima-Media-Dicke

Die hochauflösende morphologische Untersuchung der A. carotis bezieht sich sowohl auf die Bestimmung der *Intima-Media-Dicke* als auch auf die Möglichkeit, die sonomorphologischen Kenngrößen einer Plaque zu erfassen. Sonographisch kann man an der A. carotis alle 3 Schichten einer normalen Gefäßwand darstellen. Intima und Adventitia rufen im Längsschnitt parallel verlaufende echoreiche Linien hervor, zwischen denen sich ein echoarmer Saum, der der Media zugeordnet wird, befindet (Abb. 3.4a). Daher spricht man von *Doppelkontur*. Es handelt sich dabei um physikalisch bedingte Grenzonenreflexionen aufgrund unterschiedlicher Schallimpedanzen und nicht um histologische Bezeichnungen. Vom Arterienlumen aus kommend stellt die 1. echoreiche Linie die Lumen-Intima-Grenzschicht, die 2. echoreiche Linie die Media-Adventitia-Grenzschicht dar. Die Intima-Media-Dicke meint daher den Abstand zwischen den beiden echoreichen Linien (Doppelkontur) (s. Abb. 3.4). Normalerweise beträgt die Intima-Media-Dicke an der A. carotis communis des Menschen in Abhängigkeit vom Alter (Zunahme um 0,07 mm/Lebensdekade!) 0,5–0,6 mm. Am besten sollte sie an der schallkopffernen Wand gemessen werden. Da arteriosklerotische Wandverdickungen fokal umschrieben auftreten, sollte die Intima-Media-Dicke immer an der Stelle der *maximalen Verbreiterung* gemessen werden. Strukturelle Umbauvorgänge der Gefäßwand, wie sie insbesondere im Rahmen einer langjährigen Hypertonie und Dyslipoproteinämie auftreten, führen zu einer Zunahme der Intima-Media-Dicke und Verbreiterung der sonographischen Doppelkontur (Ludwig u. Stumpe 1994). Eine *Verbreiterung* auf 1 mm gilt als *pathologisch*, bei einem Wert über 1,5 mm liegt definitionsgemäß eine Plaque vor (s. Abb. 3.4b) (Li et al. 1996). Die Zunahme der Intima-Media-Dicke ist nach einer neuen Untersuchung signifikant mit dem Auftreten von Herzinfarkten und Schlaganfällen assoziiert (O'Leary et al. 1999). Gegenüber einer normalen Intima-Media-Dicke < 0,9 mm wurde in dieser Untersuchung für eine Intima-Media-Dicke der ACI über 1,8 mm und der ACC über 1,2 mm nach Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Risikofaktoren ein relatives Risiko für ein neues kardiovaskuläres Ereignis von 3,15 für eine Beobachtungszeit von 6 Jahren ermittelt (O'Leary et al. 1999).

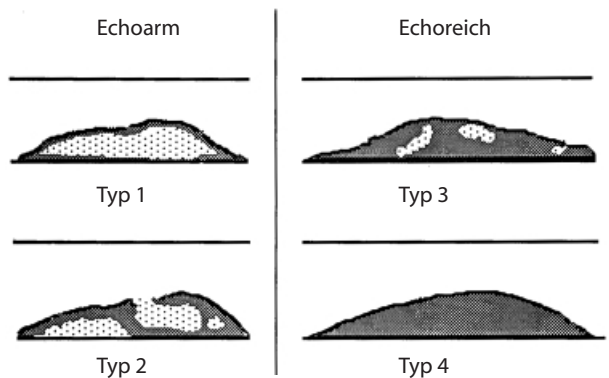
### Plaques

Im vorliegenden Buch bezeichnet der Begriff „Plaque“ die sonographische Beschaffenheit, d. h. das sonomorphologische Substrat einer Stenose oder einer nichtstenosierenden Gefäßauflagerung.

Seitdem es klinische Hinweise gibt, dass außer dem Stenosegrad (s. u.) auch die innere *Beschaffenheit* der



**Abb. 3.4.** Normale (a) und pathologische (b) Intima-Media-Dicke und ihre Messung in der A. carotis communis. Die Intima-Media-Dicke in a beträgt 0,61 mm, die Intima-Media-Dicke in b 2,4 mm



**Abb. 3.5.** Schematische Darstellung der Typ-1- bis Typ-4-Plaques. Typ-1- und Typ-2-Plaques gelten als eher echoarm, Typ-3- und Typ-4-Plaques als echoreich. (Nach Gray-Weale et al. 1988, s. auch Text)

Plaques mit dem Schlaganfallsrisiko korrelieren könnte, hat es an Versuchen nicht gefehlt, prognostisch ungünstige Plaqueformationen und -innenstrukturen auch unabhängig vom Stenosegrad zu charakterisieren (Gray-Weale et al. 1988; Geroulakos et al. 1994). Am meisten verbreitet und akzeptiert ist die von Gray-Weale (1988) und Langsfeld (Langsfeld et al. 1989) benutzte sonographische Plaqueeinteilung nach der Echogenität des Plaqueinneren (Abb. 3.5):

**Tabelle 3.2.** Morphologische Beschreibung von Plaques. (Nach de Bray et al. 1997)

Parameter	Morphologische Beschreibung
Echogenität/Echodichte	Sehr echoarm – echogleich – echoreich
Binnenstruktur	Homogen – heterogen
Plaqueeoberfläche	Glatt – unregelmäßig (0,4–2 mm tief) – Ulkus (> 2 mm tief)

- Typ 1: echoarm und kaum sichtbar, vom Gefäßlumen durch eine eierschalenartige Kappe („egg shell cap“) abgegrenzt. Die Sichtbarkeit wird durch Zuschalten der Farbe und Darstellung der durch die Plaque verursachenden Flussaussparung erleichtert;
- Typ 2: überwiegend echoarm mit weniger als 50 % echogenen (echoreichen) Anteilen;
- Typ 3: überwiegend echogen mit weniger als 50 % echoarmen Anteilen;
- Typ 4: uniform echoreich.

Prospektive Untersuchungen haben gezeigt, dass echoarme Plaques an der Karotisbifurkation signifikant höheres ipsilaterales Schlaganfalls- und TIA-Risiko aufweisen als die echoreichen Veränderungen (Langsfeld et al. 1989; Bock et al. 1993). Echoarme Plaques (Typ 1) entsprechen makro- und mikroskopisch Einblutungen und/oder Lipideinlagerungen, die für die Instabilität von Karotisplaques und die Entstehung symptomatischer arterioarterieller Embolien verantwortlich gemacht wurden (Langsfeld et al. 1989; Lusby 1993). Typ-4-Plaques gelten hingegen als stabil und führen – wenn überhaupt – nur sehr selten zu ipsilateralen Symptomen. Ein Teil der zu beurteilenden Karotisstenosen gehören den mittleren Plaquetypen (Typ 2 und 3) an, die prognostisch nicht eindeutig einschätzbar sind. Trotz dieser Einschränkung sollte bei der Farbduplexsonographie auf eine sonographische Plaquebeurteilung wegen des genannten Informationsgewinns nicht verzichtet werden. Darüber hinaus ist für die Langzeitbeobachtung die Erkenntnis sehr wichtig, dass abrupt auftretende Veränderungen der sonographischen Binnenstruktur in den Plaques mit ursprünglich benignem Aussehen zu heterogenen Plaques mit bedeutenden echoarmen Anteilen eine Schlaganfallgefährdete Untergruppe von Patienten identifizieren hilft (Langsfeld et al. 1989; Bock et al. 1993).

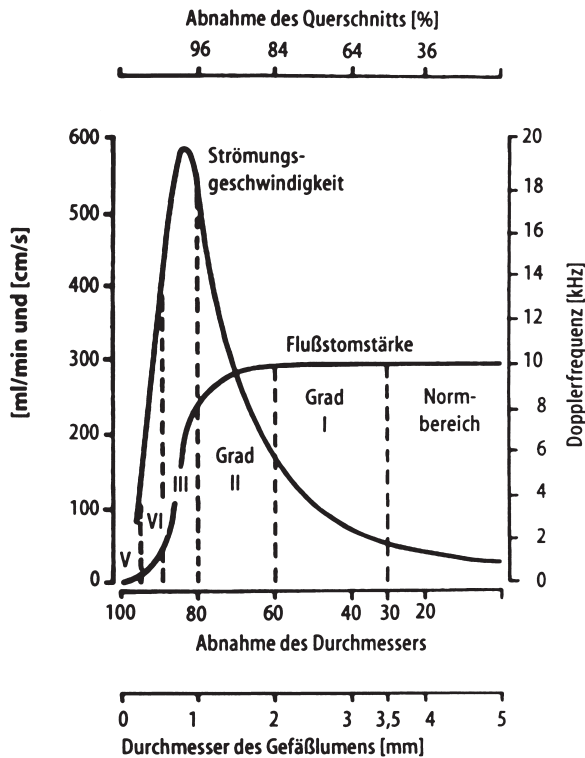
Eine vor kurzem stattgefundene internationale Konsensuskonferenz über die Charakterisierung von Karotisplaques hat vorgeschlagen, getrennte Angaben zur Echodichte (*sehr echoarm* vs. *echogleich* = „isoechoic“ vs. *echoreich*) und zur Binnentextur (*homogen* vs. *heterogen*) zu machen (de Bray et al. 1997). Bei der Angabe der Echodichte wurden auch die Ultraschallreferenzstrukturen definiert, mit denen die Plaqueechogenität

vom Untersucher verglichen werden soll: das strömende Blut als Referenz für sehr echoarm, der M. sternocleidomastoideus als Referenz für die mittlere Echogenität (= echogleich) und der Knochen des Halswirbels als Referenzstruktur für sehr echoreiche Plaques (Tabelle 3.2).

Die Plaqueeoberfläche soll in 3 Kategorien eingeteilt werden: glatt, unregelmäßig (0,4–2 mm tiefe Unebenheiten) und ulzeriert (> 2 mm tiefer Krater mit farbduplexsonographisch abgebildetem obligatem Fluss im Ulkus) (de Bray et al. 1997). Der Nachweis eines Plaqueulkus (Exkavation > 2 mm) im Zusammenhang mit einer Karotisstenose erhöht das Risiko einer ipsilateralen zerebrovaskulären Ischämie (Sitzer et al. 1995; de Bray et al. 1997). Dies sind erste Schritte zur Standardisierung von Angaben zur Plaquebeschaffenheit (s. Tabelle 3.2). Eine vor kurzem veröffentlichte Studie an fast 5000 asymptomatischen Individuen über 65 Jahren, die im Durchschnitt prospektiv 3,3 Jahre beobachtet wurden, fand 2 Prädiktoren für den ipsilateralen Schlaganfall: das Vorhandensein einer echoarmen Plaque (relatives Risiko 2,78) und eine Lumeneinengung über 50 % (relatives Risiko 3,08) (Polak et al. 1998).

### Stenosen

Die Zuverlässigkeit der reinen strukturellen B-Bild-Diagnostik bei der Bestimmung der Diameterreduktion nimmt mit zunehmendem Stenosegrad ab. Ab mittelgradigen Stenosen (> 60–70 % Diameterreduktion) sind echoreiche oder kalkhaltige Einlagerungen und Plaque-Einblutungen zunehmend häufig anzutreffen, was die Messung des Residuallumens im farbkodierten Schnittbild (ohne Doppler) erschwert. Wegen dieser Einschränkungen einer quantitativen Bestimmung der Diameterreduktion im reinen Schnittbild (B-Bild) wird die Graduierung von Karotisstenosen ab 50 %iger Lumeneinengung geschwindigkeitsabhängig vorgenommen, d. h. man schließt von der gemessenen winkeltkorrigierten Flussgeschwindigkeit auf die morphologische Diameterreduktion der A. carotis interna (Abb. 3.6). Um zu verstehen, warum der hämodynamische Parameter der Flussgeschwindigkeit relativ zuverlässig zur Beurteilung des morphologischen Stenosegrades herangezogen werden kann, muss man sich der bedeutenden Autoregulation des Gehirns erinnern, die durch periphere



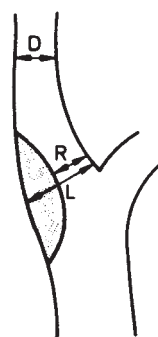
**Abb. 3.6.** Entwicklung der systolischen Strömungsgeschwindigkeit (als Dopplerfrequenz in KHz) und des Flusses (in ml/min) in Höhe der Stenose in der A. carotis in Abhängigkeit von der Diameter- bzw. Querschnittsreduktion in einem Strömungsmodell der A. carotis

Arterioldilatation den Durchfluss (in ml/min) trotz systemischen oder lokalen Blutdruckabfalls (z.B. distal von hochgradigen Stenosen) über weite Grenzen konstant halten kann. Eine weniger als 50 %ige Diameterreduktion der ACI verursacht nach dieser Modelluntersuchung noch keine lokale Geschwindigkeitserhöhung (s. Abb. 3.6). Für diesen Stenosebereich (0–49 %) haben sich auch die diagnostischen Erwartungen, die man ursprünglich in die Spektralverbreiterung gesetzt hat, nicht erfüllt. Erst ab einer Durchmesserreduktion von etwa 50 % (bei konzentrischen Stenosen entsprechend einer ca. 75 %igen Flächenreduktion) kommt es infolge des konstanten Flusses (Geschwindigkeit mal Querschnitt) zu einer Zunahme der lokalen Flussgeschwindigkeit, die in der Regel bis zu filiformen Stenosen proportional zunimmt. Dabei steigt die systolische Flussgeschwindigkeit verhältnismäßig stärker an als die enddiastolische. Bei höchstgradigen Stenosen (>90 % Diameterreduktion) kann die systolische Strömungsgeschwindigkeit infolge zunehmenden Flusswiderstandes wieder abnehmen. Folgende duplexsonographische Messparameter werden in der Karotisstenosendiagnostik am häufigsten verwendet:

- **Maximale systolische Flussgeschwindigkeit ( $V_{max}$ ):** Sie ist der sensitivste Parameter, der am zuverlässigsten mit dem Stenosegrad zunimmt und am häufigsten untersucht wurde. Es sollte immer die höchste ableitbare Flussgeschwindigkeit dokumentiert werden. Tut man es nicht, wird der Stenosegrad unterschätzt. Eine falsch zu hohe Messung kann bei normaler Winkelkorrektur nach der Flussrichtung (<60°) in der Regel nicht vorkommen.
- **Minimale enddiastolische Flussgeschwindigkeit ( $V_{min}$ ):** Dieser Parameter reagiert am besten bei höhergradigen Stenosen.
- **Verhältniszahlen der Flussgeschwindigkeitswerte:** Absolute Flussgeschwindigkeitswerte sind von vielen physiologischen und pathologischen Faktoren abhängig und daher anfällig: Kollateralisation, linksventrikuläre Funktion, vorgeschaltete Stenosen (z. B. Aortenklappenstenose), Arteriencompliance, Bluthochdruck etc. Es hat sich daher eingebürgert, das systolische Geschwindigkeitsverhältnis, definiert als die  $V_{max}$  in der ACI-Stenose geteilt durch die in der ACC gemessene  $V_{max}$  (systolic velocity ratio:  $V_{maxACI}/V_{maxACC}$ ), zu bestimmen. Andere Geschwindigkeitsverhältnisse wurden von einzelnen Arbeitsgruppen vorgeschlagen, ohne sich in anderen Studien durchzusetzen.

### Stenosegradbestimmung

Alle Karotisendarterektomiestudien haben gezeigt, dass ein Schlaganfall mit dem Schweregrad der ipsilateralen Karotiseinengung gut korreliert (NASCET 1991; ACAS 1995; ECST 1996). Therapeutische Entscheidungen und gelegentlich weitere diagnostische Maßnahmen beruhen daher auf der Kenntnis des Stenosegrades. Bei der Abschätzung dieses wichtigen Parameters werden 2 unterschiedliche Messverfahren angewendet, die Eingang in die Karotisstudien gefunden haben (Abb. 3.7):



**Lokaler Stenosegrad**

$$= \left(1 - \frac{R}{L}\right) \times 100 \%$$

**Stenosegrad relativ zum distalen Gefäßdurchmesser ("distaler Stenosegrad")**

$$= \left(1 - \frac{R}{D}\right) \times 100 \%$$

**Abb. 3.7.** Unterschied zwischen lokalem und distalem Stenosegrad. (Nach Widder et al. 1986, s. auch Text)



**Tabelle 3.3.** Duplexsonographische Kriterien zur Einteilung von Karotisstrombahnhindernissen. (Nach Moneta et al. 1993; Neale et al. 1994; Faught et al. 1994; Moneta et al. 1995). Die Umrechnung zwischen den ECST- und NASCET-Kriterien geschieht nach der Formel:  $\text{ECST-Stenose (\%)} = 0,6 \times \text{NASCET-Stenose (\%)} + 40 \%$  (ECST-Collaborative Group 1996). Um gemessene Dopplerfrequenzen (DF; in KHz) in Flussgeschwindigkeiten (m/s) umzurechnen, kann man unter Annahme eines 60°-Beschallungswinkels ( $\alpha$ ) die einfache Formel benutzen:  $\text{Geschwindigkeit (m/s)} = 1,56 \text{ DF(KHz)}/\text{TF(MHz)}$ , wobei TF die Transducerfrequenz (in MHz) ist. Umgekehrt kann man Geschwindigkeiten (m/s) in Dopplerfrequenzen (KHz) umrechnen:  $\text{DF (KHz)} = 1,28 \text{ TF (MHz)} \times \text{Geschwindigkeit (m/s)} \cos \alpha$

ECST-Diameter-reduktion	ECST-Querschnitts-reduktion	NASCET-Diameter-reduktion	Maximale systolische Flussgeschwindigkeit	Minimale diastolische Flussgeschwindigkeit	$V_{\max\text{ACI/ACC}}$ (systolisches Geschwindigkeitsverhältnis) („vel.-ratio“)
[%]	[%] <sup>a</sup>	[%]	[cm/s] <sup>b</sup>	[cm/s]	
0–49	0–74	0–15	< 110	< 40	< 1,0
50–59	75–82	16–32	110–130	≈ 40	1–1,7
60–79	83–95	33–65	130–240	40–90	1,8–3,7
80–99	96–99	66–99	≥ 250	≥ 100	≥ 3,8
Verschluss			Kein Signal		

<sup>a</sup> Bei konzentrischen Stenosen; <sup>b</sup> winkelnkorrigiert.

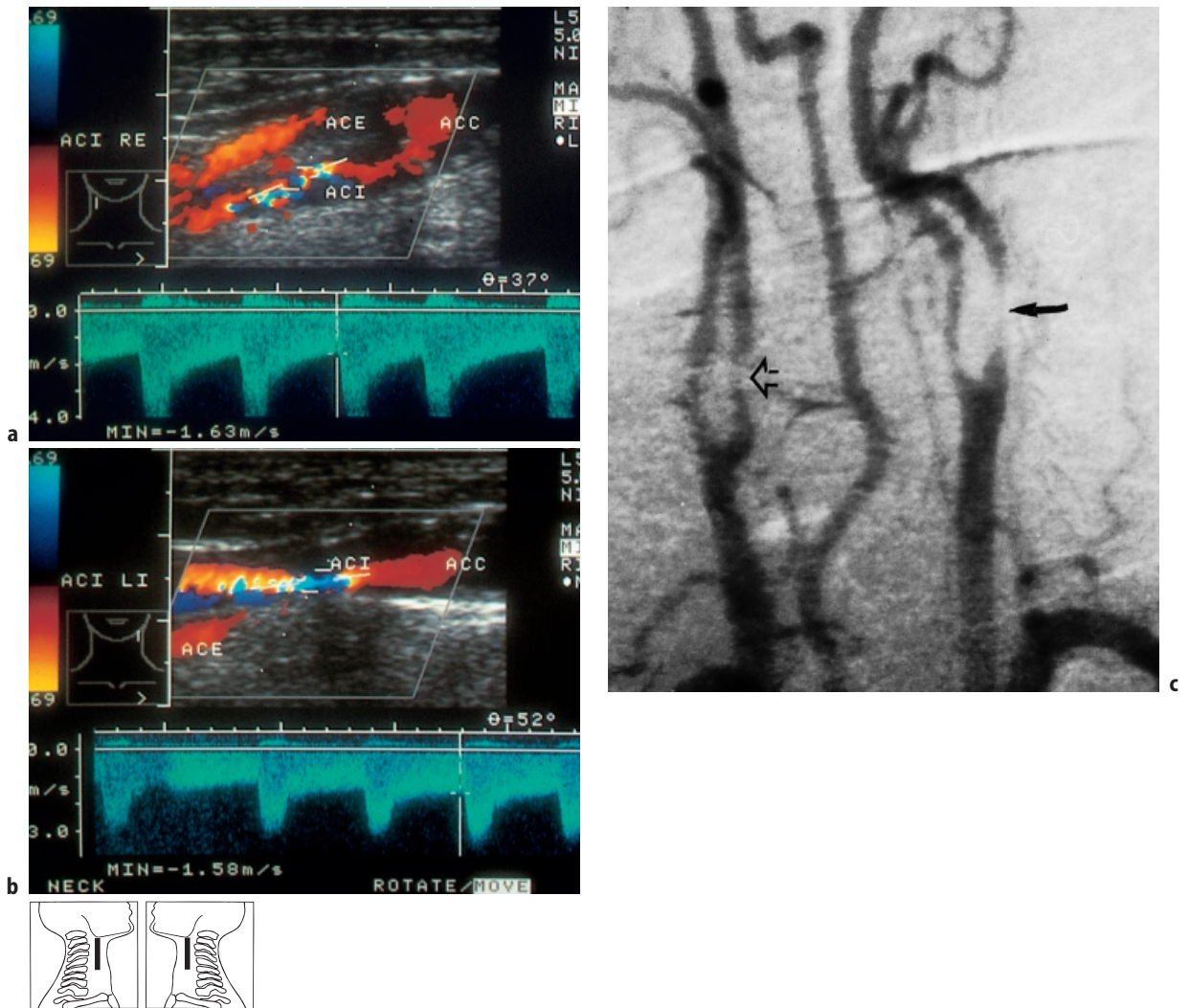
- Distaler Stenosegrad: bei diesem Verfahren wird der Residualdiameter in Höhe der maximalen Einengung in Bezug zum distalen Diameter des nicht befallenen Segmentes der ACI gesetzt. Dieser Stenosegrad wurde als Einschlusskriterium in der nordamerikanischen symptomatischen Karotisendarterektomie-studie, NASCET-Studie, benutzt (daher US- oder nordamerikanischer Stenosegrad).
- Lokaler Stenosegrad: bei diesem Verfahren wird der Residualdiameter in Höhe der maximalen Einengung auf den Gefäßdiameter des Bulbus in Höhe der Stenose bezogen. Dieser Stenosegrad wurde als Einschlusskriterium in der europäischen Endarterektomie-studie verwendet (daher ECST-Stenosegrad).

Bei einer lokalen Einengung im Bulbus von etwa 25–30 % besteht in der Regel noch kein stenosierender Effekt im Vergleich zum distal davon gelegenen Arterienabschnitt, sondern es liegt nur eine komplette Bulbusausfüllung mit Plaquematerial vor (NASCET-Stenosegrad von 0 %). Der Nachteil der NASCET-Methode ist daher, dass sie geringgradige Stenosen, von denen auch Embolien abgehen können, nicht gebührend berücksichtigt. Da der Arbeitskreis Gefäßdiagnostik der Deutschen Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin (DEGUM) den lokalen Stenosegrad als Standard empfohlen hat (Widder et al. 1986), beziehen sich alle Angaben in diesem Buch, wenn nicht anders spezifiziert, auf den lokalen Stenosegrad (ECST-Standard). Die Umrechnung zwischen den ECST- und NASCET-Kriterien geschieht nach der Formel (ECST-Collaborative Group 1996):

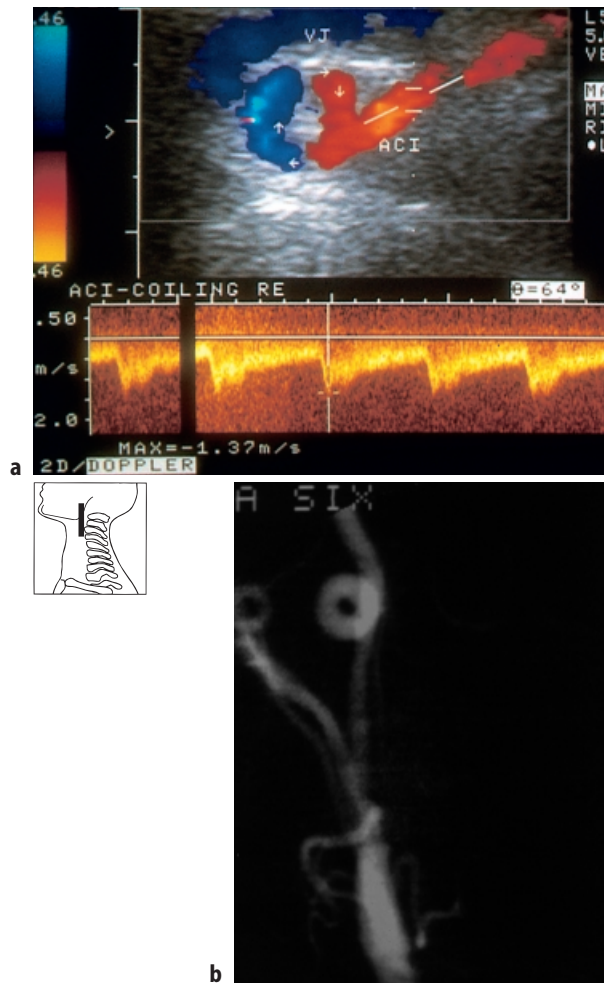
$$\text{ECST-Stenose (\%)} = 0,6 \times \text{NASCET-Stenose (\%)} + 40 \%$$

Eine lokal umschriebene Zunahme der systolischen Strömungsgeschwindigkeit in der Stenose auf über 110 cm/s gilt als pathologisch und spricht für eine Diametereinengung von > 50 % (Tabelle 3.3). Dies gilt unter der Voraussetzung, dass die kontralaterale A. carotis interna nicht verschlossen oder flussreduzierend eingeengt ist. Große Akzeptanz hat in letzter Zeit das systolische Geschwindigkeitsverhältnis ( $V_{\max\text{ACI}}/V_{\max\text{ACC}}$ ) gefunden, da es die physiologischen oder interindividuellen Variationen, wie Gefäßwandcompliance, Auswurfsleistung des Herzens oder Blutdruck, etwas ausgleicht (s. Tabelle 3.3). Treten zwischen den verwendeten Parametern ( $V_{\max}$ ,  $V_{\min}$  und  $V_{\max\text{ACI}}/V_{\max\text{ACC}}$ ) unterschiedliche Ergebnisse auf, dann gilt die Messung, welche die höhergradigere Stenose nahelegt (Zwiebel 1997).

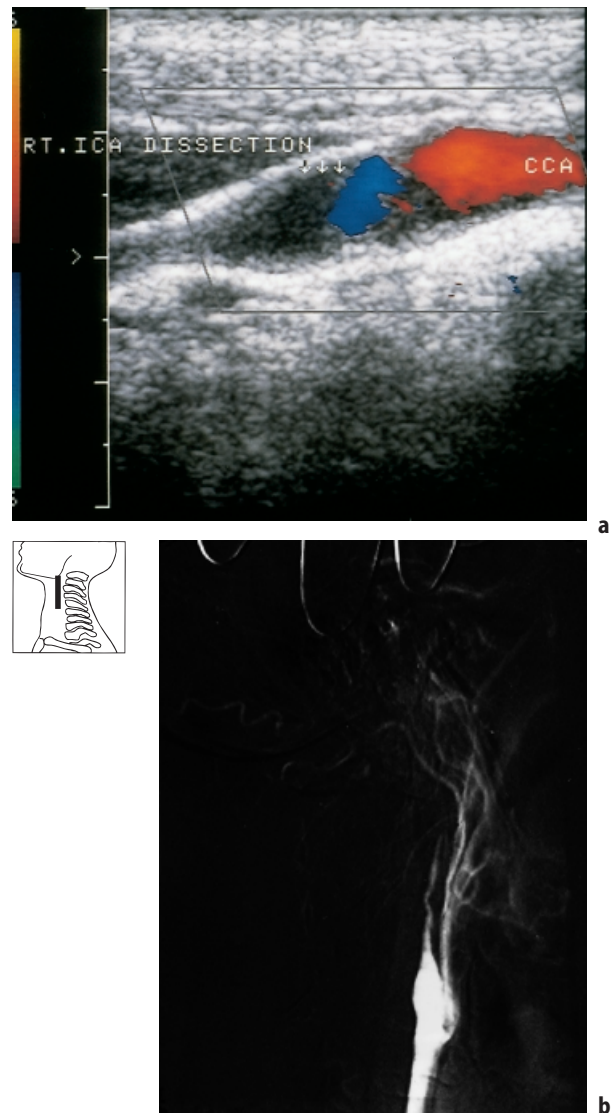
Die Treffsicherheit der Farbduplexsonographie zum Nachweis eines pathologischen Befundes an der Karotisstrombahn ist unter Einsatz der oben aufgeführten morphologischen und hämodynamischen Parameter sehr groß. Die in der Tabelle 3.4 aufgeführten wissenschaftlichen Studien haben hämodynamische Duplexparameter gegen die Mehr-Ebenen-Angiographie verglichen. Der *angiographische Standard* in allen diesen Untersuchungen seit der NASCET-Studie ist, dass zur angiographischen Stenosegradberechnung *nur die eine Ebene mit der höchsten Lumeneinengung herangezogen wird*. Eine Mittelwertberechnung findet nicht statt (NASCET 1991; Moneta et al. 1993). Dabei darf man nicht vergessen, dass die Angiographie selbst kein unproblematischer „Goldstandard“ ist, wie Vergleiche zwischen Angiographie und Pathologie oder zwischen den Befunden zweier unabhängiger Radiologen mit Treffsicherheiten zwischen 80–93 % zeigen (Tabelle 3.4). Daher ist



**Abb. 3.14.** **a** Longitudinalschnitt durch die rechte Karotisbifurkation mit Darstellung einer hochgradigen ACI-Stenose: Bereits die enddiastolische Geschwindigkeit beträgt  $163 \text{ cm/s}$ . In der Stenose besteht Aliasing. **b** Longitudinalschnitt durch die linke ACI bei demselben Patienten mit Abbildung einer ebenfalls hochgradigen ACI-Stenose (enddiastolische Geschwindigkeit von  $158 \text{ cm/s}$ ). Beidseits sind also die geforderten Kriterien für hochgradige ACI-Stenosen bei kontralateraler Stenose (enddiastolische Geschwindigkeit  $> 140 \text{ cm/s}$ ) erfüllt. **c** Aortenbogen-Angiogramm bei demselben Patienten mit Darstellung der rechten (*offener Pfeilkopf*) und linken (*Pfeil*) ACI-Stenose



**Abb. 3.19.** **a** Longitudinalschnitt durch die A. carotis interna (ACI) bei einer Patientin mit fibromuskulärer Dysplasie der ACI. Dargestellt ist ein 360°-Coiling der ACI im mittleren Halsabschnitt der Arterie, etwa 7 cm nach dem Abgang. Dieses mittlere ACI-Segment ist so gut wie nie von der Arteriosklerose betroffen. Mit Pfeilen ist die Flussrichtung im Coiling eingezeichnet. Oberhalb (schallkopfnah) der ACI ist die V. jugularis (VJ) blaukodiert abgebildet. Es handelt sich um einen Zufallsbefund bei einer 32-jährigen Patientin. Wichtig ist daher die Mituntersuchung des weit distal gelegenen ACI-Segmentes vom retromandibulären Zugangsweg. **b** Selektive Angiographie mit Darstellung der Coiling-Figur im mittleren Halsabschnitt der ACI bei der selben Patientin. Ein Coiling kann eine Manifestationsform der fibromuskulären Dysplasie sein



**Abb. 3.20.** **a** Longitudinalschnitt durch die distale A. carotis communis (CCA) und die proximale A. carotis interna (ICA) bei Dissektion und Verschluss der ACI. Solche spitz zulaufenden Dissektionen mit Verschluss oder Stenose (meist längerstreckig) der ACI sind typisch für die A. carotis und häufiger anzutreffen als Doppellumina. Man sieht die zunehmende Verjüngung des Arterienlumens, das durch Intimarriss und intramurale Einblutung zusammengedrückt wird und verschließt. **b** Angiographisches Korrelat bei demselben Patienten mit charakteristisch spitz zulaufendem Lumen und ACI-Verschluss

Farbduplexsonographie der Arterien und Venen  
Atlas und Leitfaden

Strauss, A.L.

2001, XIII, 189 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-41048-5