3 Anatomie und Pathologie der Hirngefäßwände

3.1 Wandaufbau der Hirnarterien

Die Arterienwand ist aus 3 Schichten aufgebaut:

▶ **Intima.** Die Intima besteht aus Endothel, elastischen und kollagenen Fasern. Sie ist die dünnste Wandschicht, ihre Dicke nimmt im Alter zu, übersteigt in der Regel jedoch nicht 100 µm. Sie ist durch eine elastische Membran von der Media getrennt.

▶ **Media.** Die Media stellt die dickste Schicht der Gefäßwand dar und besteht überwiegend aus glatten Muskelfasern, kollagenen und elastischen Fasern.

▶ **Adventitia.** Die äußere Schicht, die Adventitia, besteht vorwiegend aus kollagenen Fasern. Sie sind, wie die elastischen Faserelemente in den Hirnarterien, nicht in Längs-, sondern in Querrichtung angeordnet, da sie keiner Längsbeanspruchung unterworfen sind, sondern dem von innen wirkenden Blutdruck widerstehen müssen. Diese Schicht ist nach außen vom umgebenden Bindegewebe nicht scharf abgegrenzt.

3.2 Darstellung der normalen Gefäßwand, Intima-Media-Dicke

3.2.1 Geräte und Geräteeinstellungen

Hochauflösende B-Bild-Geräte und Sonden mit Sendefrequenzen > 7 MHz sind geeignet, Feinstrukturen der Arterienwand abzubilden. Die Beurteilung der Gefäßwand erfordert eine geeignete Fokuseinstellung. Die Verstärkung wird so gewählt, dass sich die sondennahe und -ferne Gefäßwand mit gleicher Echogenität darstellen und intraluminale Artefakte vermieden werden. In der Regel wird ein mittlerer dynamischer Bereich am Gerät gewählt.

Im Ultraschallbild einer gesunden Karotiswand stellen sich sowohl sondenfern als auch sondennah jeweils 2 parallel verlaufende echoreiche Linien dar, die eine echoarme Linie umsäumen (▶ Abb. 3.1).

An der *sondenfernen* Wand entsteht die 1. echoreiche Linie durch den Impedanzsprung zwischen echoarmem Gefäßlumen und der Intima. Die 2. echoreiche Linie entsteht an der Grenzfläche zwischen Media und Adventitia. Im direkten Vergleich der Sono- und Histomorphologie (▶ Abb. 3.1) konnte in zahlreichen Untersuchungen gezeigt werden, dass an der sondenfernen Wand die Gesamtdicke der 1. echoreichen Linie und der mittleren

Abb. 3.1 Intima-Media-Dicke (IMT).
a A. carotis communis im Längsschnitt. Sowohl sondennah als auch sondenfern ist der Intima-Media-Komplex im Zoom und mit Fokussierung in hoher Auflösung erkennbar.
b Im Abschnitt der sondenfernen Wand der ACC wird in stärkerer Vergrößerung automatisch über eine festgelegte Länge (hier 9,5 mm) die IMT markiert und ein Mittelwert (hier 0,42 mm) berechnet.

echoarmen Linie der Intima-Media-Dicke (Intima-Media-Thickness, IMT) entspricht. Die Unterscheidung zwischen Intima und Media selbst ist jedoch sonografisch nicht möglich.

Die an der sondenfernen Wand gemessene IMT stimmt nicht mit der IMT der *sondennahen* Wand überein, da die Grenzflächenreihenfolge umgekehrt verläuft. Durch physikalisch bedingte verstärkungsabhängige Projektion von Adventitiaechos in die Media und von Intimaechos in das Gefäßlumen können an der sondennahen Wand die Grenzflächen zwischen Adventitia und Media und zwischen Intima und Gefäßlumen nicht definiert werden.

Die Intima-Media-Dicke (IMT) ist altersabhängig und korreliert mit der Anzahl der Risikofaktoren (RF; ▶ Abb. 3.2). Die sondenferne IMT in der ACC liegt im Normalfall altersabhängig bei 0,5–1,0 mm.

aus: Kaps u.a., Sonografie in der Neurologie (ISBN 9783131367730) © 2017 Georg Thieme Verlag KG

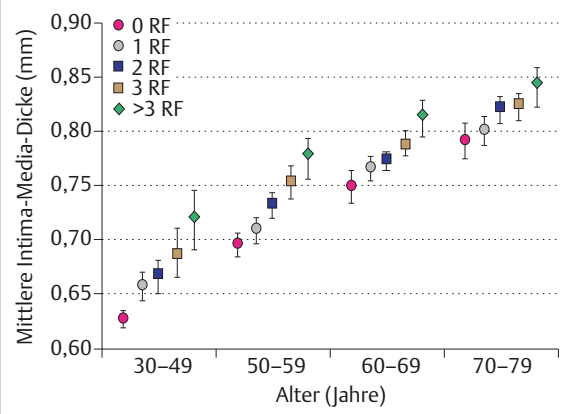

Abb. 3.2 Intima-Media-Dicke. Die IMT ist abhängig von der Zahl der Risikofaktoren (RF) und dem Alter [51].

Praxis

Methode der IMT-Messung

Die Messung erfolgt

1. am *sondenfernen Wandabschnitt* der ACC mindestens 5 mm vom Karotisbulbus entfernt,
2. mit lateraler Sondenposition in rechtwinkliger Beschallung,
3. in einer *plaquefreien Zone* mit hoher Bildqualität (Plaque: fokale Wandverdickung > 50 % IMT der Umgebung),
4. während der Diastole mithilfe der Loop-Funktion,
5. mit Erfassung des ACC-Durchmessers, da die IMT mit dem Lumenquerschnitt korreliert.

Es können verschiedenste Werte (maximale IMT, mittlere IMT, Mittelwerte von beiden Seiten etc.) bestimmt werden. Messungen im Bifurkationsabschnitt und an geschlängelten Gefäßabschnitten sind weniger gut reproduzierbar, manuelle Messungen sind stärker untersucherabhängig als semiautomatische.

▶ **Bedeutung der IMT.** Die Intima-Media-Dicke ist ein allgemein akzeptierter epidemiologischer Surrogatmarker der generalisierten Arteriosklerose, der mit allen traditionellen Gefäßrisikofaktoren korreliert. Sie kann auch herangezogen werden, um weitere Risikofaktoren (z. B. Genetik, Inflammation) zu identifizieren, da die klassischen Risikofaktoren nur ca. 50 % der statistischen Varianz in größeren Studien erklären. Der inkrementelle Informationsgewinn der IMT-Messung in Hinblick auf ein kardiovaskuläres Risiko ist gering, aber epidemiologisch gut belegt.

Die statistische jährliche Veränderung der IMT (0,0147 mm/a) liegt jedoch deutlich unter der Auflösung des Ultraschalls, so dass eine Verlaufsuntersuchung bei Individuen wenig Sinn ergibt. Daher eignet sich die Methode auch nicht zur individuellen Risikovorhersage, kann aber für epidemiologische Studien sehr nützlich sein [49]. Es besteht somit ein grundsätzlicher Unterschied zur wandständigen Plaque der A. carotis, die als spezifischer Phänotyp der Arteriosklerose einen deutlich höheren prädiktiven Wert für die Vorhersage von kardiovaskulären Ereignissen hat.

3.3 Pathologische Wandveränderungen

3.3.1 Arteriosklerose

Die Häufigkeit und die Lokalisation arteriosklerotischer Veränderungen an den extrakraniellen Hirnarterien von Patienten, bei denen aufgrund einer möglichen Karotisoperation ein Angiogramm erstellt wurde, zeigt ▶ Abb. 3.3.

An der extrakraniellen Karotisbifurkation ist die Wand der ACI gegenüber dem Flussteiler, d. h. bei lateralem Abgang die laterale Wand, bevorzugter Sitz arteriosklerotischer Plaques. Der weiter distal gelegene Abschnitt bis zur Schädelbasis zeigt fast nie umschriebene arteriosklerotische Veränderungen. Hier sind allerdings fibromuskuläre Dysplasien und traumatische oder spontane Dissektionen zu finden, die wiederum den Bereich der Karotisbifurkation aussparen.

Stenosegrad

Die Stenosegraduierung im B-Bild wird unzuverlässiger, wenn der Stenosegrad zunimmt. Bei höhergradigen Stenosen sind häufig Schattenwurf und Reverberation anzutreffen. Die dadurch bedingte Auslöschung oder Überlagerung des B-Bilds im Stenosebereich macht eine Beurteilung der Feinstruktur unmöglich. Diese Effekte können durch mehrere Schnittebenen, besonders aber durch die Querschnittdarstellung gemildert werden.

Einzelheiten zur Stenosegraduierung sind in Kap. 9 umfassend dargestellt.

Die arteriosklerotische Plaque

Jens Allendörfer

Ultraschall-Plaquemorphologie

Definition

Arteriosklerotische Plaque

Nach internationalem Konsensus wird eine fokale Wandveränderung als Plaque bezeichnet, wenn die Vorwölbung in das Gefäßlumen mindestens 50 % des benachbarten IMT-Wertes beträgt oder eine fokale Wandverdickung 1,5 mm überschreitet ([51]; ▶ Abb. 3.4 **a** u. **b**). Wenn eine Plaque nicht zu Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeit bzw. des Doppler-Spektrums führt, wird sie als „nicht stenosierend" bezeichnet (▶ Abb. 3.4 **c**–**d**).

aus: Kaps u.a., Sonografie in der Neurologie (ISBN 9783131367730) © 2017 Georg Thieme Verlag KG

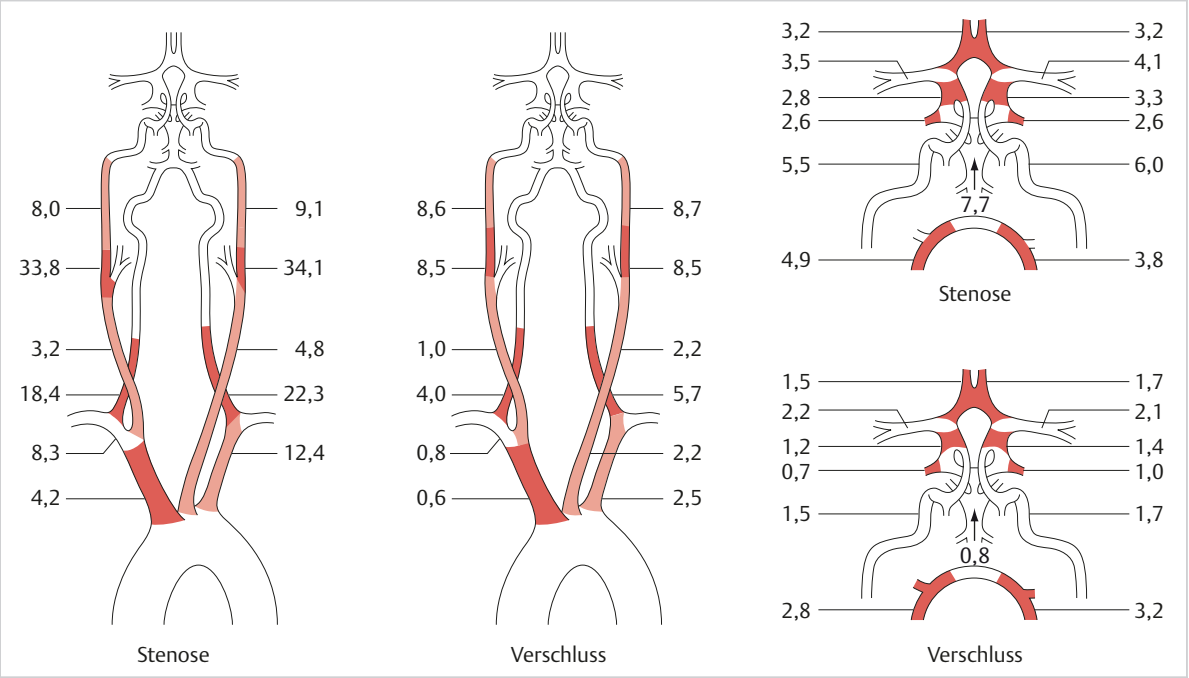

Abb. 3.3 Arteriosklerotische Obstruktionen. Prozentuale Häufigkeit arteriosklerotischer Obstruktionen an den extrakraniellen Hirnarterien und dem Circulus arteriosus cerebri [47].

In der Regel werden nicht stenosierende Plaques am besten mit dem B-Bild dargestellt, wobei die Arterie zuerst im Längsschnitt und danach im Querschnitt möglichst vollständig erfasst werden muss.

Eine einheitliche Beschreibung der Plaquemorphologie existiert nicht. Da die Ultraschallanwendung keine histologische Methode ist, empfehlen wir eine auf den Reflexionseigenschaften basierende Beschreibung (▶ Abb. 3.4):

- echoarm,
- echoreich.

Bei Strukturen mit größerer Schnittfläche sind zusätzlich zu berücksichtigen:

- die Textur (grob/fein),
- die Verteilung der Echos (homogen/inhomogen); zur Beschreibung wird das Begriffspaar „dicht/vereinzelt" verwendet.

Als *Vergleichsstrukturen* werden empfohlen:

- bei mittlerer Echogenität der M. sternocleidomastoideus,
- bei hoher Echogenität der Querfortsatz der Halswirbel (Knochen),
- bei geringer Echogenität das Gefäßlumen mit fließendem Blut.

Zur Reproduzierbarkeit der Plaquedetektion und Beschreibung der Plaquemorphologie existieren nur wenige Studien. Eine der ersten Arbeiten dazu untersuchte die Reproduzierbarkeit der Plaqueerkennung (vorhanden oder nicht), der Plaquedicke und der Morphologie hinsichtlich Echogenität und Homogenität [55]. In Anlehnung an die Klassifikation von Gray-Weale wurden folgende Merkmale verwendet:

- Die Echogenität wurde in 4 Grade – von echoarm bis echoreich – eingeteilt.
- Die Binnenstruktur der Plaque wurde als *heterogen* bezeichnet, wenn sich 20 % der Fläche von der überwiegend vorhandenen Struktur unterschieden.
- Bei weniger als 20 % wurde die Plaque als *homogen* bezeichnet.

Die Reproduzierbarkeit für den Nachweis von Plaques und deren Morphologie war gut ($\kappa = 0{,}72$). Lediglich die Bestimmung der Plaquedicke zeigte eine nur moderate Reproduzierbarkeit, was sicher auch mit dem Problem der wechselnden Anlotungswinkel zusammenhängt. Dies weist darauf hin, dass man bei der Bewertung der Plaqueprogression in der Routine sehr kritisch sein sollte, insbesondere bei verschiedenen Untersuchern.

Die oben genannten Kriterien der Plaquemorphologie decken sich mit denen von Geroulakos ([53], ▶ Tab. 3.1), die neben den modifizierten Gray-Weale-Kriterien am häufigsten in klinischen Studien verwendet wurden.

aus: Kaps u.a., Sonografie in der Neurologie (ISBN 9783131367730) © 2017 Georg Thieme Verlag KG

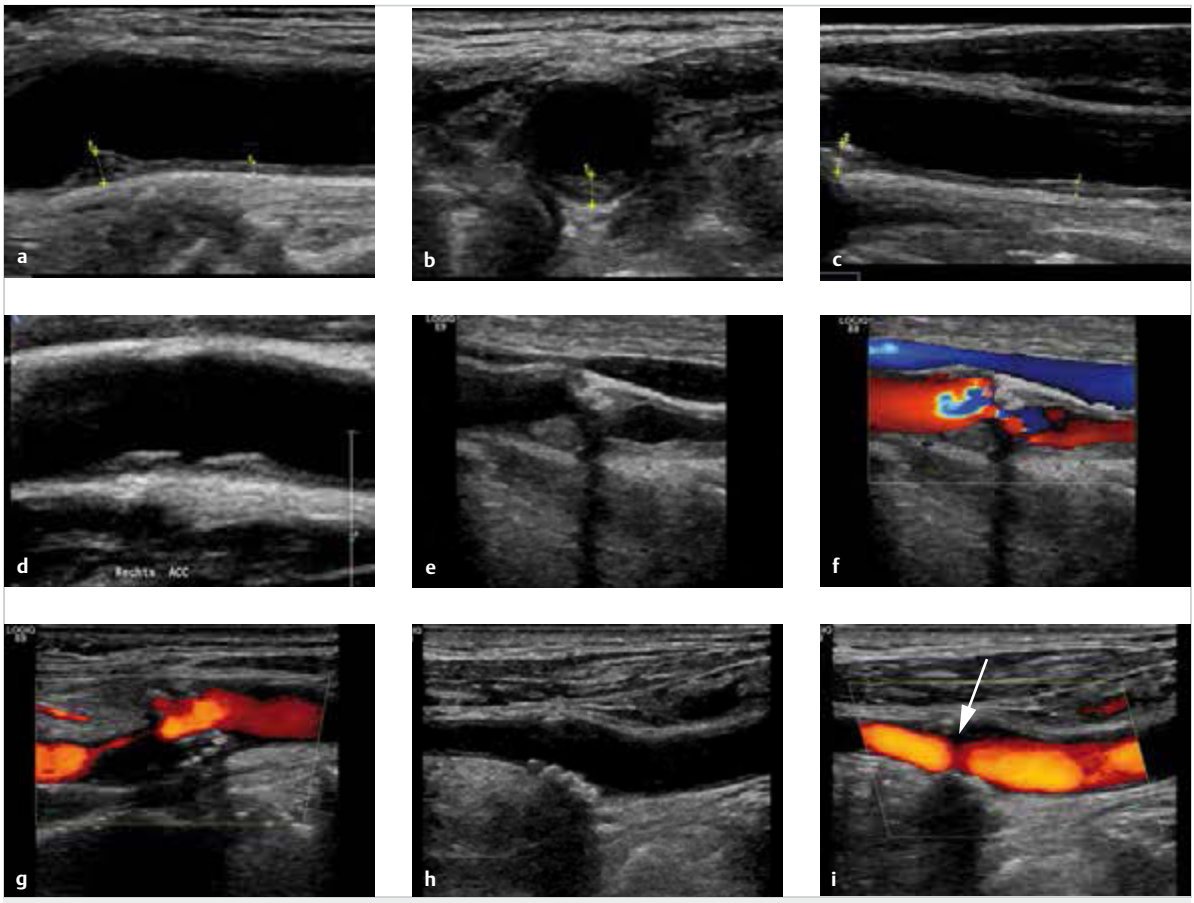

Abb. 3.4 Synopse verschiedener Gefäßwandveränderungen.
a Gemischt echogene Plaque (2,7 mm) bei noch normaler angrenzender IMT (0,8 mm) im Längsschnitt.
b Plaque aus **a** im Querschnitt.
c IMT der distalen ACC (max. 1,3 mm) mit Kaliberschwankung und proximaler, überwiegend echoreicher Plaquebildung (2,7 mm).
d Die Plaque zeigt eine Unterbrechung der Oberfläche, als Hinweis auf Läsion der „Fibrous Cap" als Abgrenzung des echoreicheren Inneren zum Lumen, obwohl natürlich aus der Sonomorphologie nur begrenzt Rückschüsse auf den histologischen Aufbau möglich sind.
e Homogene, abschnittsweise stark echoreiche Plaque mit Schallschattenwurf.
f Wie **e**, jedoch farbduplexsonografische Aufnahme.
g Gemischt echoreiche und echoarme Plaque mit grober Textur und einem separaten, großen echoarmen Anteil.
h Gefäßlumen im B-Bild mit sondenfern schattengebender echoreicher Plaque. Es zeigt sich kein Hinweis auf eine sondennah echoarme Plaque.
i Durch die Farbinformation wird im Vergleich zu **h** deutlich, dass zusätzlich sondennah eine echoarme Plaque mit homogener Textur vorliegt (Pfeil).

Tab. 3.1 Klassifikation der Plaquemorphologie (Quelle: [53]).

Typ	Kriterien
Typ 1	gleichmäßig echoarm; eine dünne echogene Kappe kann, muss aber nicht vorhanden sein
Typ 2	überwiegend echoarm mit weniger als 50 % echoreichen Anteilen
Typ 3	überwiegend echoreich mit weniger als 50 % echoarmen Anteilen
Typ 4	gleichmäßig echoreich
Typ 5	Schallschattengebung durch Kalzifikationen: Beurteilung unmöglich

Praxistipp

Plaquebeurteilung

- *Schnittebenenartefakte* (Kap. 1.8.5, Abb 1.30, Abb. 1.31): Es sind sowohl falsch negative als auch falsch positive Befunde möglich, deswegen ist eine Darstellung im Querschnitt nötig;
- *Abgrenzungen gegen Reverberationen* oder Artefakte im Sinne eines Verstärkungseffekts: Echogene, plaqueverdächtige Wanddarstellungen müssen diesbezüglich überprüft werden;
- Ein farbkodiertes Strömungsbild mit schlechter räumlicher Auflösung kann die Wandstrukturen „überschmieren".

aus: Kaps u.a., Sonografie in der Neurologie (ISBN 9783131367730) © 2017 Georg Thieme Verlag KG

Plaquestruktur

▶ **Homogene und heterogene Strukturen.** Wie bereits erwähnt wird zwischen homogener und heterogener Plaquestruktur unterschieden. Eine heterogene Struktur ist dann zu diagnostizieren, wenn eine oder mehrere eindeutig abgrenzbare, im Vergleich zur übrigen Wand *echoarme Zonen* mit Reflexionseigenschaften ähnlich denen des fließenden Blutes nachweisbar sind (▶ Abb. 3.4 **d** u. **g**). Diese Zonen entsprechen entweder einer Hämorrhagie oder einer Ansammlung von Cholesterin und Zelldetritus bzw. Lipiden. Schattenwurf kann solche Befunde vortäuschen.

Echoreiche Zonen entsprechen entweder dichten fibrösen Strukturen oder Verkalkungen (▶ Abb. 3.5). An Letztere ist besonders bei deutlichem Schattenwurf zu denken (▶ Abb. 3.4 **e** u. **f**). In jüngeren Studien wurden auch umschriebene echoreiche, nicht schattengebende (discrete white Area) und lumennah gelegene echoarme Regionen (juxtaluminal hypoechoic Area) als Hinweis auf die Instabilität der Plaque beschrieben ([56]; s. ▶ Abb. 3.6).

▶ **Erhöhte Vulnerabilität bei echoarmer Plaque.** Der echoarmen Plaque wird eine erhöhte Vulnerabilität zugeschrieben. Die Evidenz war lange nicht überzeugend. Mittlerweile konnte in prospektiven Studien gezeigt werden, dass mit einem auch in der Routine verwendbaren 4-Stufen-Grading der Echogenität Aussagen zum zerebralen Ischämierisiko gemacht werden können.

In der prospektiven *ACES-Studie* [62] wurde neben der Emboliedetektion bei asymptomatischen hochgradigen Plaques auch die Morphologie beurteilt. Gleichmäßig echoarme und überwiegend echoarme Plaques (Klassifikation nach Geroulakos, [53]) bedeuteten ein signifikant höheres Schlaganfallrisiko, welches in Kombination mit dem Nachweis mikroembolischer Signale noch deutlich zunahm. In der *„Asymptomatic Carotid Stenosis and Risk of Stroke Study“* (ACSRS, [58]) wurden 1121 Patienten über 4 Jahre beobachtet. Dabei wurden 130 ipsilaterale retinale oder zerebrale ischämische Ereignisse vermerkt. Diese traten signifikant häufiger bei Patienten mit echoarmen Plaques auf. Bei einem Kollektiv von *Schlaganfallpatienten* lag die Rezidivrate für Patienten mit echoarmer Plaque nach der modifizierten Gray-Weale-Klassifikation höher als bei Patienten mit echoreicheren Plaques [61]. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass hochgradige Stenosen der A. carotis interna (80–99 % nach Kriterien des „North American symptomatic Carotid Endarteriectomy Trial“ [NASCET]) mit echoreicher Plaquemorphologie ein geringeres Schlaganfallrisiko haben als solche mit echoarmer Plaque und einem Stenosegrad von nur 50–79 % [54].

Zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Beschreibung der Plaquemorphologie kann eine Analyse der Plaque mittels *Grauwerthistogramm* erfolgen (▶ Abb. 3.7, ▶ Abb. 3.8). Hierbei wird die Anzahl der Bildpunkte (Pixel) eines bestimmten Grauwertes (0–255) angezeigt. Vorteil ist eine „Bildnormalisierung“, wobei z. B. dem intraluminalen Blut der Grauwert 0 und der Adventitia der Grauwert 190 zugeordnet wird. Somit sind vergleichende Auswertungen von Bildern verschiedener Ultraschallgeräte und B-Bild-Einstellungen möglich. In verschiedenen Studien waren Grauwerte von unter 30–35 mit ipsilateralen zerebralen ischämischen Ereignissen assoziiert ([52], [60]).

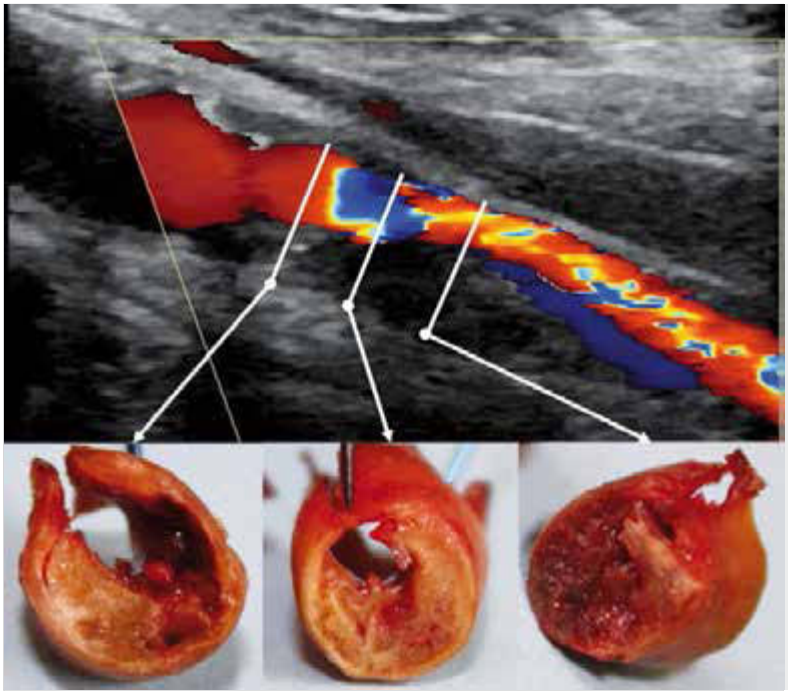

Abb. 3.5 Plaquemorphologie mit Lipiddegeneration und Kalzifizierung. Hochgradige Stenose der A. carotis interna durch eine Plaque mit überwiegend echoarmer Sonomorphologie im Längsschnitt.
Der Querschnitt des Intimazylinders im proximalen Abschnitt zeigt überwiegend Lipiddegeneration und Kalzifizierungen im äußeren Bereich. Das mittlere Querschnittsbild zeigt zusätzlich hämorrhagische Bereiche mit sehr feinen Gefäßanschnitten in der Plaque. Rechts ist im Maximum der Stenose fast ausschließlich hämorrhagisches Gewebe zu erkennen. Lateral rechts im Querschnitt findet sich eine balkenförmige Kalzifizierung.

aus: Kaps u.a., Sonografie in der Neurologie (ISBN 9783131367730) © 2017 Georg Thieme Verlag KG

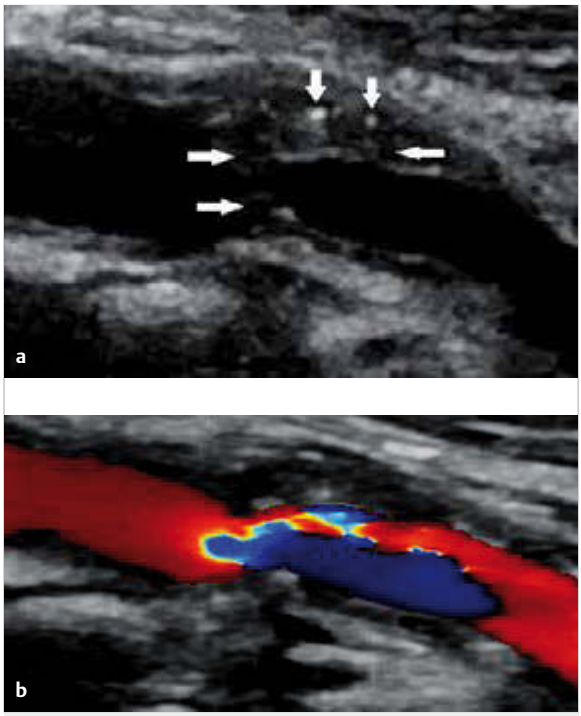

Abb. 3.6 Echoreiche und echoarme Zonen, instabile Plaque.
a Hochgradige Stenose der A. carotis interna im B-Bild mit nicht schattengebenden echoreichen Punkten (discrete white Area, senkrechte Pfeile) und lumennah gelegenen echoarmen Regionen (juxtaluminal hypoechoic Area, waagrechte Pfeile) als Hinweis auf Instabilität der Plaque.
b Wie **a**, mit Farbkodierung.
Die Bilder zeigen eine innerhalb von 2 Monaten von etwa 60 % auf 80 % progrediente asymptomatische Stenose der A. carotis interna rechts (lokaler Stenosegrad). Wenige Tage vor der geplanten operativen Desobliteration kam es zu einer transitorisch ischämischen Attacke mit 20-minütiger distal betonter Armparese links.

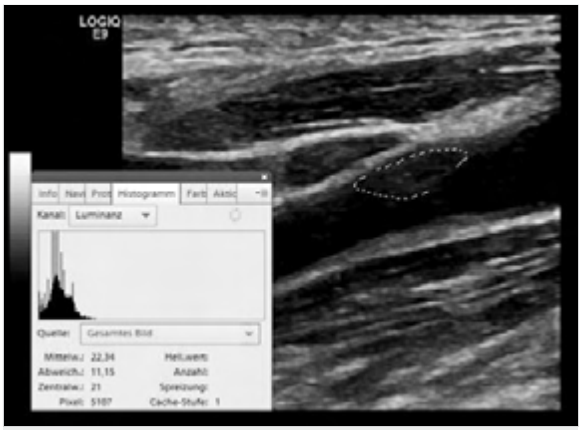

Abb. 3.7 Grauwerthistogramm einer echoarmen Plaque.

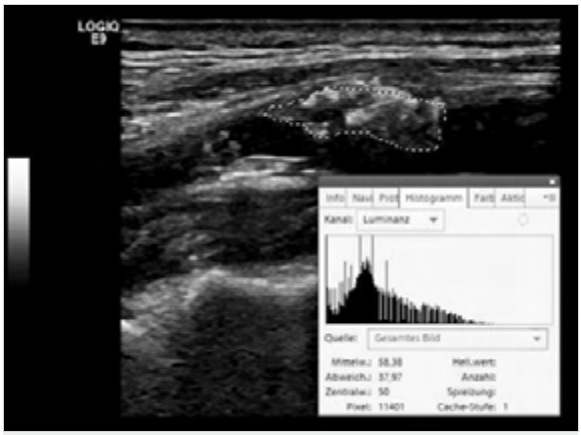

Abb. 3.8 Grauwerthistogramm einer heterogenen Plaque.

▶ **Prädiktiver Wert von Plaques.** Zur Vorhersagekraft von Plaques in Bezug auf Faktoren erhöhter Vulnerabilität können die folgenden Aussagen gemacht werden:

- Bei echoarmen Plaques liegt der positive prädiktive Wert für *Hämorrhagien* in der histologischen Analyse bei etwa 40 %, weil sich atheromatöser Detritus und Lipidablagerung ähnlich darstellen.
- Homogen echoreiche Darstellungen entsprechen meist *fibroatheromatösen Veränderungen*.
- Karotisstenosen, die im B-Bild einen hohen Anteil echoarmer Bereiche zeigen, sind rascher progredient als überwiegend echogene Plaques. Dies ist von Bedeutung, da progrediente Stenosen häufiger symptomatisch sind. Eine zunehmende Zahl von prospektiven Arbeiten stützt die These, dass der Ultraschallaspekt der Plaque mit der Wahrscheinlichkeit einer *Entwicklung von weiteren Symptomen* einhergeht. Eine Korrelation von B-Bild, Operationspräparat und Vorgeschichte ergab häufiger kurz zurückliegende Symptome bei echoarmen Plaques.

Merke

Plaquestruktur

Den subjektiven Eindruck des Untersuchers durch reproduzierbar quantifizierte Daten der Plaquestruktur im Ultraschallbild zu ersetzen, ist bisher nicht überzeugend gelungen. Gründe hierfür sind:

- die eingeschränkte Vergleichbarkeit von Ultraschallbildern verschiedener Geräte,
- verschiedene technische Bedingungen des Scanverfahrens,
- unterschiedliche Transducer-Eigenschaften,
- vielfältige Einstellungsmöglichkeiten des Untersuchers (▶ Abb. 3.9),
- variable Bildbearbeitungsschritte und Interpolationsverfahren.

aus: Kaps u.a., Sonografie in der Neurologie (ISBN 9783131367730) © 2017 Georg Thieme Verlag KG

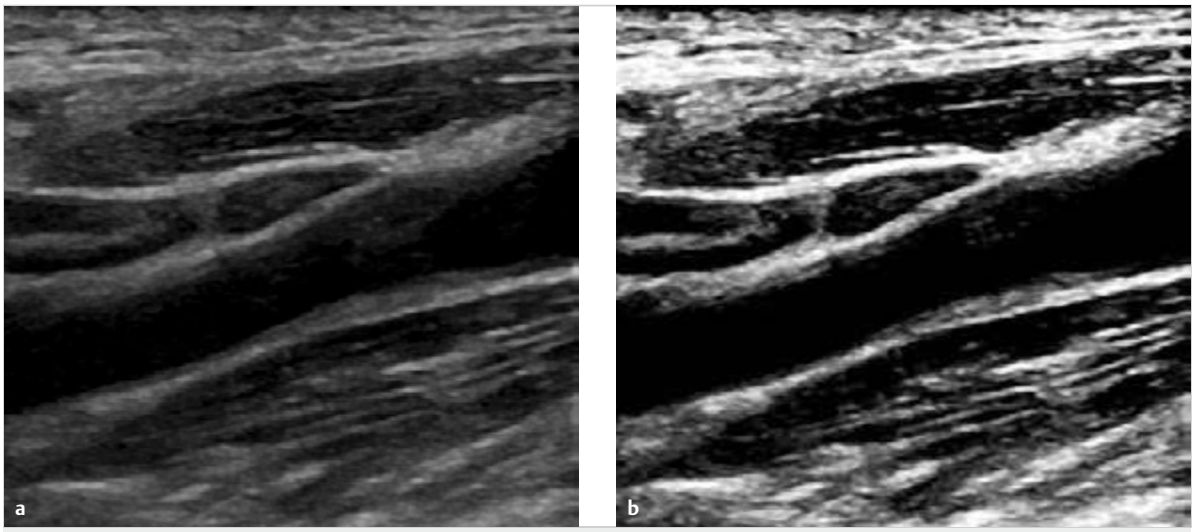

Abb. 3.9 Einfluss der Geräteeinstellung auf die Plaquediagnostik.
a Homogen gering echogene Plaque mit feiner Textur (dynamischer Bereich 68 %).
b Gleiche Plaque wie in **a** mit einer Einstellung des dynamischen Bereichs von 36 %. Die gering echogenen Anteile sind jetzt nicht mehr zu erkennen, es entsteht der Eindruck einer nahezu echofreien Plaque mit einzelnen punktförmigen echoreichen Einlagerungen. Die Plaquegrenzen sind nicht mehr sicher festzulegen.

Plaqueoberfläche

Bei den unregelmäßigen Formen ist zwischen solchen zu unterscheiden, bei denen die Oberfläche geschlossen wirkt, und solchen, bei denen eine *Unterbrechung* vorliegt. Unterbrechungen entsprechen möglicherweise ulzerativen Wandaufbrüchen (▶ Abb. 3.10). Die Literaturangaben zur Zuverlässigkeit des Ulkusnachweises mit Duplexsonografie ohne Farbkodierung weichen so stark voneinander ab, dass sie mehr zur Verwirrung als zur Klärung der Frage beitragen.

In einem Vergleich histologischer Merkmale (dünne fibröse Kappe, Hämorrhagie oder Nekrose, Ulzeration) konnte eine moderate Übereinstimmung nur für das Erkennen einer fibrösen Kappe < 1 mm und für den Nachweis einer Hämorrhagie oder Nekrose festgestellt werden (κ um 0,5). Da sowohl die Hämorrhagie als auch die Nekrose echoarm erscheinen, können sie nicht voneinander differenziert werden. Die Beschreibung einer irregulären Oberfläche der Plaque oder ulzeröse Veränderungen zeigten keine zuverlässige Übereinstimmung mit der Histologie [57].

Eine weitere der wenigen Studien mit Vergleich von Sonogramm und OP-Präparat bestätigt die geringe Sensitivität (38 %) der Sonografie, eine Ulzeration zu erkennen. Wenn allerdings sonografisch eine Nischenbildung erkannt wurde, war dies meist auch am Präparat zu finden (Spezifität 92 %; [59]). Die Möglichkeit, Nischen mittels Farbkodierung nachzuweisen, beschränkt sich nach eigener Erfahrung auf solche von mehreren Millimetern Tiefe und Breite (▶ Abb. 3.10). Nischen dieser Größenordnung werden oft im einfachen B-Bild vermutet und lassen sich ggf. dann durch Farbkodierung absichern.

Merke

Erkennung von Oberflächenunterbrechungen

- Die Erkennung ist durch die – im Vergleich zur axialen Auflösung – relativ schlechtere laterale Auflösung der Geräte begrenzt.
- Es müssen mehrere Schnittebenen untersucht werden bzw. qualitativ ausreichend sein, um kleinere Unterbrechungen sicher identifizieren zu können.
- Wenn 2 Plaques aufeinander folgen, wirkt der dazwischenliegende Bereich im B-Bild und Angiogramm wie eine Unterbrechung bzw. wie ein Ulkus. Weder anhand des B-Bilds noch anhand eines Angiogramms kann entschieden werden, ob eine solche Läsion eine Endothelschicht aufweist oder tatsächlich eine Oberflächenunterbrechung zeigt.

Plaquevaskularisation

Schon früh im Entstehungsprozess einer Plaque kommt es zu einer Zunahme der Vasa vasorum im betroffenen Gefäßwandbereich und schließlich auch zu einer Neubildung von Gefäßen im gesamten Media- und Intimabereich des arteriosklerotischen Gefäßabschnitts im Sinne pathologischer *Neovaskularisation.* Diese sog. Mikrogefäße haben ihren Ursprung zum größten Teil in den Gefäßen der Adventitia, nur selten im Gefäßlumen [64]. Ursächlich für diese Neoangiogenese sollen Stimuli wie z. B. eine Hypoxie der Media, Inflammation der Gefäßwand und oxidativer Stress sein.

aus: Kaps u.a., Sonografie in der Neurologie (ISBN 9783131367730) © 2017 Georg Thieme Verlag KG

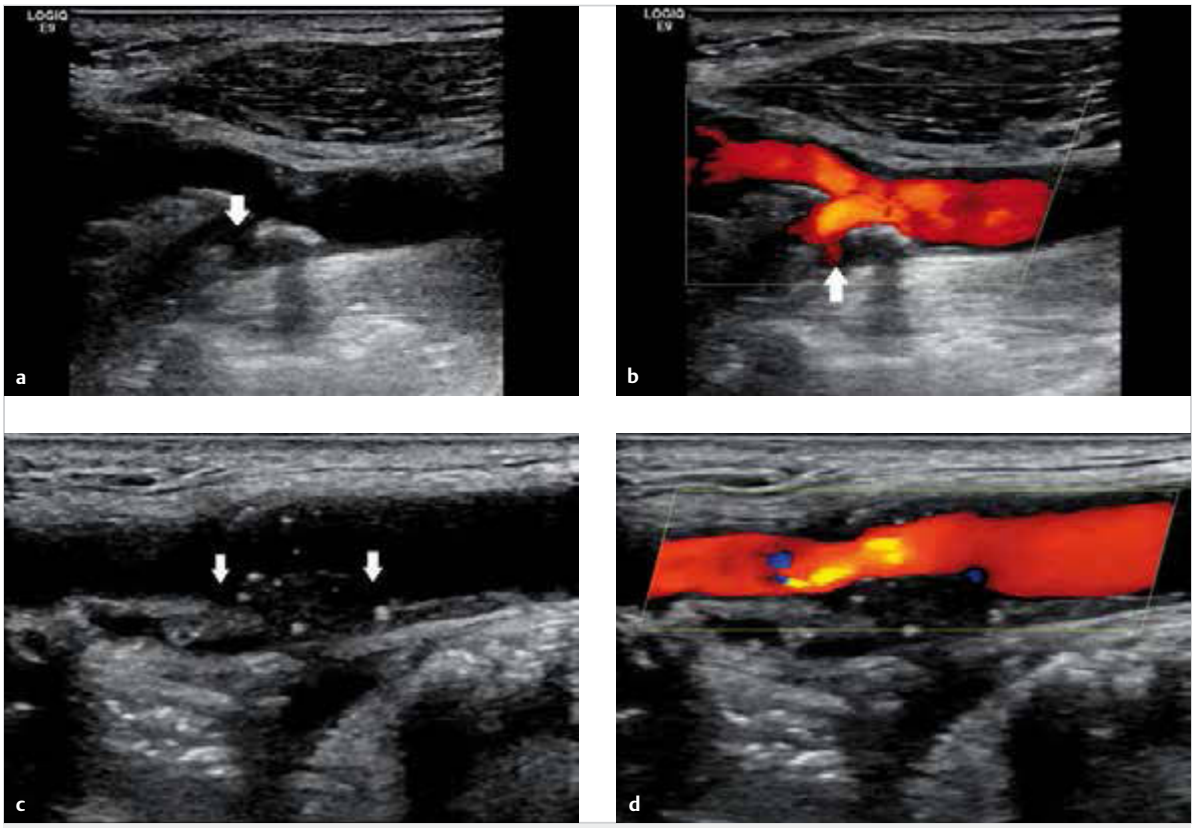

Abb. 3.10 Farbkodierung zur Definition einer Nische bzw. zum Ausschluss einer Oberflächenunterbrechung.
a Darstellung einer Nische an der schallkopffernen Wand (Pfeil) des Internaabgangs.
b Die in **a** vermutete Nische bestätigt sich durch Farbkodierung im Power-Duplex (rot, s. Pfeil).
c Eine scheinbare Unterbrechung der „fibrösen Kappe" suggeriert Nischenbildungen in der echoarmen Plaque im B-Bild (s. Pfeile),
d was sich hier jedoch durch Farbkodierung nicht bestätigen ließ.

Video 3.1 Farbkodierung zur Definition einer Nische bzw. zum Ausschluss einer Oberflächenunterbrechung. Kraterbildung in B-Flow-Darstellung.

Besonders bei klinisch symptomatischen Patienten konnten histologisch auffällig viele, größere sowie dysmorphe, unreife Gefäße mit einem Mangel an glatten Muskelzellen nachgewiesen werden [65]. Diese fragilen Gefäße gelten als Quelle vaskulärer Leckage und Inflammation sowie als Ursprung von hämorrhagischen Einbrüchen in die Plaque. Hämorrhagien in der Plaque wiederum werden mit einem erhöhten Plaquerupturrisiko in Verbindung gebracht; das Gleiche gilt für die erhöhte Anzahl von inflammatorischen Zellen wie Makrophagen und T-Zellen in der Plaque [67]. Weiterhin zeigte sich, dass bei Plaques von Patienten, die an symptomatischer Arteriosklerose litten, häufiger ein hoher Makrophagenanteil in der Gefäßintima sowie ein hyperplastisches Netzwerk aus Vasa vasorum zu finden waren.

▶ **Nachweis mit Echokontrastverstärkung.** Die Neovaskularisation der Plaque lässt sich mittels Kontrastsonografie darstellen. Ein Beispiel zeigt ▶ Abb. 3.11. Dazu verwendet man ein Ultraschallkontrastmittel, bestehend aus gasgefüllten Bläschen, die von einer stabilen Membran umgeben sind (siehe Kap. 1.13). Moderne Ultraschall-

aus: Kaps u.a., Sonografie in der Neurologie (ISBN 9783131367730) © 2017 Georg Thieme Verlag KG