



**Abb. 1.9** Postoperative 3D-CT-Angiografie nach Aufarbeitung des intraoperativen Eingriffs: Anlage eines Subklavia-Subklavia-Cross-over-Bypasses, Anlage eines Aorto-Karotis-Bypasses rechts sowie eine ACI-TEA und Patchplastik rechts.

## 1.3 Komplexe Stenosen supraaortaler Äste, Aortenbogensyndrom

Die supraaortalen Äste sind von einer Atherosklerose wesentlich seltener betroffen als die untere Extremität. Während intrakranielle Blutungen in 15% der Fälle für einen Apoplex verantwortlich sind, sind zerebrale Ischämien in 85% durch eine Minderperfusion des Gehirns bedingt. Ursache dieser Minderperfusion ist zu 20% ein Verschluss bzw. eine Stenose der A. carotis interna [139]. Die 3 großen Aortenbogenäste sind mit 25% und die Aa. vertebrales mit nur 10% betroffen – die linke Seite häufiger als die rechte [140]. Eine Atherosklerose des Truncus brachiocephalicus und der A. carotis communis kommen mit jeweils 9% sowie der A. subclavia mit 16% vor [141]. Bei rund 50–75%

der Patienten treten multiple Stenosen auf [142–144]. Die Inzidenz von isolierten Stenosen supraaortaler Äste wird mit 1,8% und die Inzidenz einer zusätzlichen Stenose mit 0,6% angegeben [145]. Die Atherosklerose stellt bei Patienten jenseits des 50. Lebensjahres die häufigste Ursache von Verschlussprozessen dar. **Risikofaktoren** für komplexe Stenosen der supraaortalen Äste sind Nikotinabusus mit über 82%, eine arterielle Hypertension in ca. 50%, eine Hypercholesterinämie in 16%, Diabetes mellitus in 11% und eine koronare Herzkrankheit in 17% der Fälle – wie in mehreren Studien beschrieben wurde [146–149]. Paradoerweise sind bei Frauen häufiger kombinierte Stenosen der supraaortalen Äste zu beobachten als bei Männern [147, 150–152], mit ca. 60% versus ca. 40% [149–151, 153, 154].

Die **Arteriitis (Takayasu-Disease)** spielt in westlichen Ländern bei der Pathogenese supraaortaler Verschlussprozesse eher eine untergeordnete Rolle. Sie tritt aber in Japan und Indien hauptsächlich bei Patientinnen zwischen dem 10. und 25. Lebensjahr auf. Andere, allerdings seltene Ursachen dieser Erkrankung sind iatrogene Verschlüsse nach einer Subclavian-Flap-Operation wegen Coarctatio aorta oder nach PTA der A. subclavia, traumatische Verschlüsse, vor allem an der A. carotis communis bzw. interna, Kompression der A. subclavia durch eine Halsrippe oder eine Elongation und Schleifbildungen der A. carotis interna, konnatale Gefäßanomalien wie Hypo- und Aplasie der A. carotis interna, der A. subclavia wie A. lusoria, fibromuskuläre Dysplasien im mittleren Bereich der A. carotis interna sowie Spontandissektionen der A. carotis interna [155]. Es hat sich bewährt, die Häufigkeit von relevanten Stenosen supraaortaler Äste in Kombination mit einer Stenose des Truncus brachiocephalicus zu bestimmen. In Kombination mit einer Stenose des Truncus brachiocephalicus war eine relevante Stenose der linken A. carotis interna mit fast 30% das häufigste Befallsmuster eine konkomitante Stenose der supraaortalen Äste [149]. In der Patientengruppe (n = 23) des Autors waren bei ca. 30% der Patienten der Diagnose eines Aortenbogensyndroms eine TEA der A. carotis interna vorausgegangen. Ein Befall der A. carotis interna konnte unabhängig von einer eventuell früher durchgeführten TEA der A. carotis interna bei allen Patienten festgestellt werden, in 30% sogar beidseitig [156].

Die **klinische Symptomatik** variiert je nach befallenen Gefäßen zwischen Amurosis fugax, TIA, vertebrobasilärer Insuffizienz bis hin zur Belastungsischämie des Arms [147]. Ist der Truncus brachiocephalicus vom Verschlussprozess betroffen, bleiben nur 3–8% dieser Patienten asymptomatisch [150, 152, 156]. Verschlussprozesse der supraaortalen Äste können abhängig von ihrer Lokalisation zu einer Durchblutungsinsuffizienz in 3 verschiedenen Gefäßregionen führen:

1. Subklavia-Brachialis-System,
2. Vertebralis-Basilaris-System und
3. Karotissystem.

Die Symptome einer Subklavia-Stenose bei proximaler Lokalisation vor dem Abgang der A. vertebralis äußern sich in einem Subclavian-steal-Syndrom. Verschiedene Gefäße kommen für die Kompensation des Stealeffekts infrage. Man unterscheidet 4 verschiedene Formen dieser Erkrankung [155]: Am häufigsten kommt der Typ I (vertebrovertebraler Typ) mit 66% vor. Die übrigen Formen sind ein karotidobasilärer Shunt (Typ II), ein externobasilärer Shunt (Typ III) und ein karotidosubklavialer Shunt (Typ IV beim Verschluss des Truncus brachiocephalicus). Letztere kommen deutlich seltener vor. Die Symptome im Vertebralis-Basilaris- und im Karotissystem können sich aufgrund ihrer komplexen anatomischen Variationen abwechseln, sodass Zeichen einer vertebrobasilären Insuffizienz bei einer Karotisstenose vorherrschen können [155].

Die **Behandlungsindikation** bei einem Aortenbogensyndrom lässt sich nicht direkt mit der einer asymptomatischen oder symptomatischen Stenose der A. carotis interna vergleichen. Als klare Indikationsstellungen gelten eine vertebrobasiläre Insuffizienz, vorausgegangene TIAs oder embolisierende Ereignisse [157, 158]. Die Indikation zu einer PTA besteht bei einem Aortenbogensyndrom nur bei geeigneten Restenosen der A. carotis interna nach vorausgegangener TEA und/oder bei begleitenden Stenosen des Truncus brachiocephalicus und der linken A. subclavia [156, 159–165].

Während für die operative Behandlungsformen bei den isolierten symptomatischen Stenosen der A. subclavia und des Truncus brachiocephalicus schon aufgrund langer klinischer Erfahrung validierte Daten existieren, fehlen beim Aortenbogensyndrom klare operative Richtlinien für multiple Stenosen supraaortaler Äste. Die Transposition der

A. subclavia in die A. carotis communis bzw. die Anlage eines Subklavia-Karotis-Bypasses stellen zwei gut fundierte Operationsmöglichkeiten bei der Behandlung symptomatischer Stenosen der A. subclavia dar [166]. Zur Behandlung symptomatischer Stenosen des Truncus brachiocephalicus stehen sowohl eine PTA als auch operative Behandlungen zur Verfügung. Die isolierten Stenosen des Truncus brachiocephalicus treten bei weniger als 2% der Patienten auf, sodass eine isolierte PTA dieser Stenosen eine Rarität darstellt [167]. Dabei werden sowohl antegrade als auch retrograde PTA-Verfahren als Hybridverfahren angeboten [168, 169]. Für die operative Revaskularisation symptomatischer Stenosen des Truncus brachiocephalicus kommen vorzugsweise intrathorakale Verfahren mit Anlage eines Aorto-Truncus-, Aorto-Karotis- und Aorto-Subklavia-Bypasses sowie extrathorakale Verfahren mit Anlage von unterschiedlichen extraanatomischen Cross-over-Bypässen infrage [170, 171]. Die **Revaskularisation** supraaortaler Äste bei einem Aortenbogensyndrom muss anhand des radiologischen Befunds und der vorherrschenden Symptomatik individuell entschieden werden. Durch die enormen Fortschritte interventioneller Möglichkeiten in der Neuroradiologie können hierbei Hybridverfahren mit gutem Erfolg angewendet werden.

### 1.3.1 Operationstechniken

Das Operationsverfahren richtet sich nach dem angiografischen Befund. Bei Vorliegen von **isolierten Stenosen** der supraaortalen Äste ist eine einzeitige anatomische Revaskularisation anzustreben. Liegen **beidseitige** operationswürdige **Stenosen** der A. carotis interna und weitere Stenosen der supraaortalen Äste vor, wird die Entfernung der Stenose der A. carotis interna der einen Seite und die Revaskularisation der Aortenbogenäste in einer Sitzung vorgenommen. In einer zweiten Sitzung wird dann die Stenose der kontralateralen A. carotis interna angegangen. Als Standardzugang hat sich die mediane Sternotomie bewährt, die bei Verlängerung nach proximal einen hervorragenden Überblick liefert und damit eine Revaskularisation von zentralen Stenosen erlaubt. Bei einer gleichzeitigen Stenose der A. carotis interna müssen die zentralen Stenosen durch gesonderte Schnitte behoben werden. Die isolierten Stenosen der supraaortalen Äste können überbrückt werden, indem Bypässe von

der Aorta aus implantiert werden. Werden **kombinierte Stenosen** revaskularisiert, ist bei einer meist atherosklerotischen Aorta nur ein zentraler Bypass sinnvoll, in den die übrigen Bypässe implantiert werden können.

Eine proximale Stenose der linken A. subclavia mit einem Subclavian-steal-Syndrom kann durch die Interposition der A. subclavia in die A. carotis communis versorgt werden. Bei gleichzeitig notwendiger Revaskularisation anderer supraaortaler Gefäße sollte, wenn möglich, die A. subclavia auf diese Weise revaskularisiert werden, da eine anatomische Revaskularisation in diesem Bereich technisch schwierig ist. Die gegebenenfalls notwendigen intraoperativen Shunts bei Anlage von zentralen Aorto-Karotis-Bypässen kann zwischen der A. carotis interna und der Aorta an der zentralen Anschlussstelle des Bypasses eingelegt werden. Hierzu ist die Anlage von Tabaksbeutelnähten an der Aorta zur Sicherung des Shunts sinnvoll.

### 1.3.2 Fallbeispiele

#### Patient 1

##### Anamnese und Klinik

Der 54-jährige Patient fiel durch rezidivierende Schwindelattacken auf. Die doppler- und farbkodierte Duplexsonografie der supraaortalen Äste legte den Verdacht einer Stenose des Truncus brachiocephalicus mit deutlicher Flussminderung in der rechten A. subclavia und A. carotis communis nahe. Die anderen supraaortalen Äste waren in ihrem extrazerebralen Abschnitt unauffällig.

##### Befund der MRT-Angiografie

Die MRT-Angiografie der supraaortalen Äste bestätigt die Verdachtsdiagnose einer hochgradigen Stenose des Truncus brachiocephalicus. Ein Subclavian-steal-Syndrom besteht jedoch nicht.

##### Behandlungsziel

Ziel der Behandlung ist die Wiederherstellung der Perfusion des Truncus brachiocephalicus, um einen rechtshirnigen Apoplex sowie ein Subclavian-steal-Syndrom zu verhindern.

#### Operation und Verlauf

Um einen operativen Zugang für die Revaskularisation der supraaortalen Äste zu erhalten, führten der Autor und sein Team eine mediane Sternotomie mit Verlängerung des Schnitts nach proximal durch. Nach Anschlingen der V. brachiocephalica sinistra wurde das Perikard eröffnet, hochgenäht und anschließend der Truncus brachiocephalicus angeschlungen.

Die Atheromatose des Truncus brachiocephalicus war auf dessen Abgang beschränkt. Implantiert wurde ein Aorto-Truncus-brachiocephalicus-Bypass.

Der Patient war postoperativ neurologisch unauffällig. Die Kontrolluntersuchungen zeigten eine freie Durchgängigkeit des implantierten Bypasses.

#### Patient 2

##### Anamnese und Klinik

Der 67-jährige Patient klagte über rezidivierende Schwindelattacken. In der Vorgeschichte wurde eine TIA mit einer passageren linkseitigen Hemiparese angegeben.

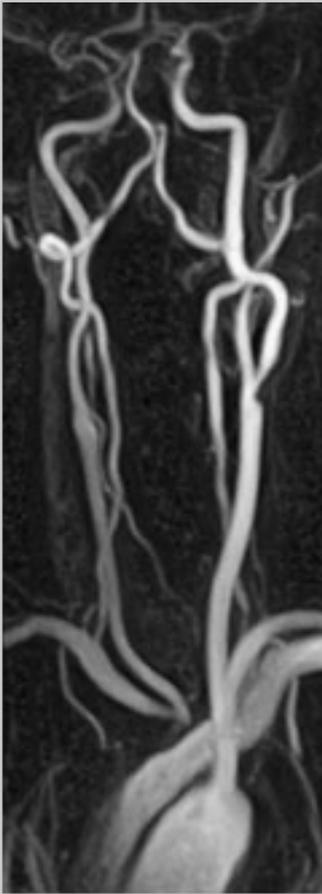
Die doppler- und duplexsonografische Untersuchung der supraaortalen Gefäße zeigte eine hochgradige ACI-Stenose links. Darüber hinaus wurde der Verdacht auf einen Verschluss der rechten A. carotis communis und A. subclavia sowie auf ein rechtsseitiges Subclavian-steal-Syndrom geäußert.

##### Befund der MRT-Angiografie

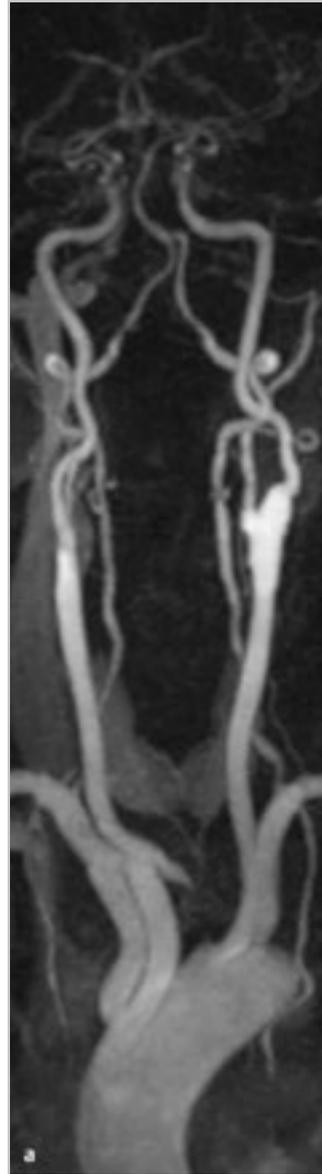
Die MRT-Angiografie der supraaortalen Äste zeigt ein partielles Aortenbogensyndrom mit Verschluss des Truncus brachiocephalicus sowie des Abganges der rechten A. carotis communis. Die A. carotis interna links liefert das Bild einer hochgradigen Abgangsstenose (► Abb. 1.10).

##### Behandlungsziel

Das Ziel der Operation ist die Revaskularisation der supraaortalen Äste und leitet sich aus den angiografischen und klinischen Befunden ab:



**Abb. 1.10** MRT-Angiografie der supraaortalen Äste. Partielles Aortenbogen-syndrom mit Verschluss des Truncus brachiocephalicus, des Abganges der rechten A. carotis communis sowie einer hochgradigen Abgangsstenose der linken A. carotis interna.



**Abb. 1.11** Postoperative MRT-Angiografie der supraaortalen Äste.

a Bypässe von der Aorta ascendens zur rechten A. carotis communis und rechten A. subclavia sowie TEA und Patchplastik der linken A. carotis interna.

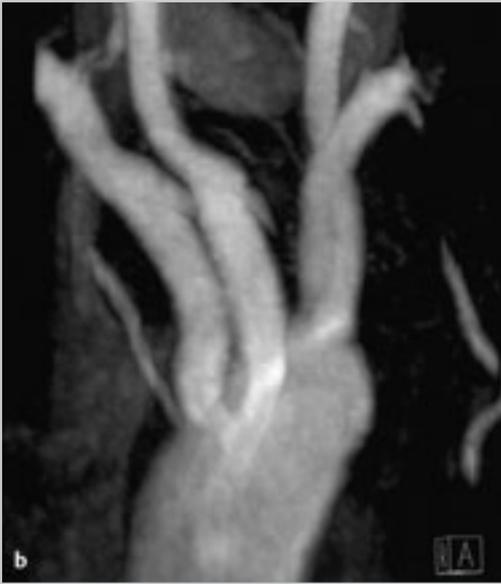
1. Perfusion der linken A. carotis interna zur Verhinderung eines linkshirnigen Apoplex,
2. Revaskularisation der rechten A. carotis communis zur Verhinderung eines rechtshirnigen Apoplex und
3. Revaskularisation der rechten A. subclavia zur Behebung des Subclavian-steal-Syndroms rechts

### Operation und Verlauf

Zunächst wurde die linke A. carotis interna freigelegt und eine TEA mit einer Dacron-Erweiterungspatchplastik vorgenommen. Anschließend wurde eine mediane Sternotomie durchgeführt und die A. carotis communis rechts sowie die A. subclavia dargestellt. Als nächstes wurde ein Aorto-Karotis-Bypass rechts implantiert.

Zur Behebung des Subclavian-steal-Syndroms rechts wurde ein Bypass End-zu-Seit auf die A. subclavia implantiert und aufgrund deutlicher Verkalkungen am Aortenbogen End-zu-Seit in den Aorta-Karotis-Bypass reimplantiert (► Abb. 1.11a,b, 1.12).

Der postoperative Verlauf war bei primärer Wundheilung unauffällig. Neurologisch traten die Schwindelattacken nicht mehr auf.



**Abb. 1.11**

b Zentrale Bypässe von der Aorta zur rechten A. carotis communis und zur rechten A. subclavia.



**Abb. 1.12** Postoperative 3D-CT-Angiografie der supraaortalen Äste nach Aufarbeitung des operativen Eingriffs: Bypässe von der Aorta ascendens zur rechten A. carotis communis und rechten A. subclavia sowie TEA und Patchplastik der linken A. carotis interna.

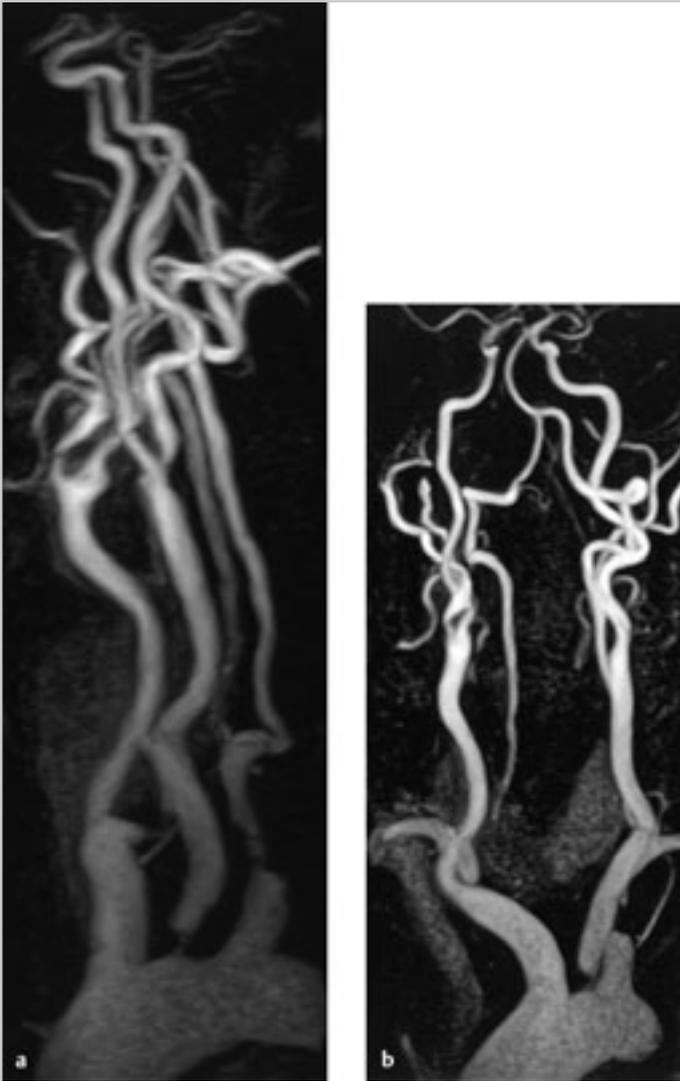
## Patient 3

### Anamnese und Klinik

Der 56-jährige Patient fiel durch rezidivierende Schwindelattacken, eine Claudicatio intermittens des rechten Arms sowie eine einmalige Amurosis fugax rechts auf. Die doppler- und farbkodierte Duplexsonografie der supraaortalen Äste legte bei vorhandener Stenose des Truncus brachiocephalicus und der linken A. subclavia die Verdachtsdiagnose eines partiellen Aortenbogensyndroms nahe. Darüber hinaus wurde ein ausgeprägtes Subclavian-steal-Syndrom links festgestellt.

### Befund der MRT-Angiografie

In der MRT-Angiografie-Aufnahme der supraaortalen Äste wird neben einer hochgradigen Stenose des Truncus brachiocephalicus eine hochgradige Abgangsstenose der linken A. carotis communis, ein Verschluss der linken A. subclavia sowie eine hochgradige Abgangsstenose der linken A. carotis interna dargestellt (► Abb. 1.13a, b). Das Subclavian-steal-Syndrom links konnte durch die Angiografieuntersuchung bestätigt werden.



**Abb. 1.13** MRT-Angiografie der supraaortalen Äste.

- a Neben einer hochgradigen Stenose des Truncus brachiocephalicus wurden eine hochgradige Abgangsstenose der linken A. carotis communis, ein Verschluss der linken A. subclavia sowie eine hochgradige Abgangsstenose der linken A. carotis interna festgestellt.
- b Hochgradige Stenose des Truncus brachiocephalicus, Verschluss am Abgang der linken A. carotis communis und proximaler Verschluss der linken A. subclavia.

## Behandlungsziel

Behandlungsziel ist die Revaskularisation der supraaortalen Äste. Dieses Ziel kann erreicht werden durch:

1. Perfusion des Truncus brachiocephalicus, um einen rechtshirnigen Apoplex sowie ein Subclavian-steal-Syndrom rechts zu verhindern,
2. Perfusion der Strombahn der linken A. carotis communis und interna sowie
3. Perfusion der linken A. subclavia zur Behebung des Subclavian-steal-Syndroms links.

## Operation und Verlauf

Nach einer medianen Sternotomie wurde nach Anschlingen der V. brachiocephalica sinistra das Perikard eröffnet und hochgenäht. Anschließend wurden der Truncus brachiocephalicus, die rechte A. carotis communis, die rechte A. subclavia und die linke A. carotis communis angeschlungen.

**Zu 1:** Die Perfusion des Truncus brachiocephalicus wurde wiederhergestellt, indem ein Bypass vom Aortenbogen ausgehend auf den Truncus implantiert wurde.



**Abb. 1.14** Postoperative MRT-Angiografie der supraaortalen Äste: Bypässe von der Aorta ascendens zum Truncus brachiocephalicus und zur linken A. carotis communis, Anlage eines Bypasses von der linken A. subclavia zur linken A. carotis communis sowie TEA und Patchplastik der linken A. carotis interna.



**Abb. 1.15** Postoperative 3D-CT-Angiografie der supraaortalen Äste nach Aufarbeitung des operativen Eingriffs: Bypässe von der Aorta ascendens zum Truncus brachiocephalicus und zur linken A. carotis communis, Anlage eines Bypasses von der linken A. subclavia zur linken A. carotis communis sowie TEA und Patchplastik der linken A. carotis interna.

**Zu 2:** Zuerst wurde eine TEA der linken A. carotis interna mit einer Hemashield-Patchplastik unter Einlage eines temporären intraluminären Shunts durchgeführt. Anschließend wurde ein weiterer Bypass vom Aortenbogen ausgehend auf die linke A. carotis communis implantiert.

**Zu 3:** Durch Freilegung der linken A. subclavia über einen supraklavikulären Zugang wurde ein Bypass zwischen der linken A. carotis communis und A. subclavia implantiert.

Die komplexe Rekonstruktion der supraaortalen Äste durch die Implantation des aortotrunkalen Bypasses ermöglichte eine freie Durchblutung des rechten Arms sowie der rechten Hemisphäre. Die kombinierte TEA der linken A. carotis interna und der Aorto-Karotis-communis-Bypass gewährleisteten eine freie Perfusion der linken Hemisphäre. Die Anlage eines Subklavia-Karotis-Bypasses links führte zur Aufhebung des Subclavian-steal-Syndroms links (► Abb. 1.14, 1.15).

Postoperativ war der Patient neurologisch unauffällig. Die Kontrolluntersuchungen zeigten eine freie Durchgängigkeit aller implantierten Bypässe.

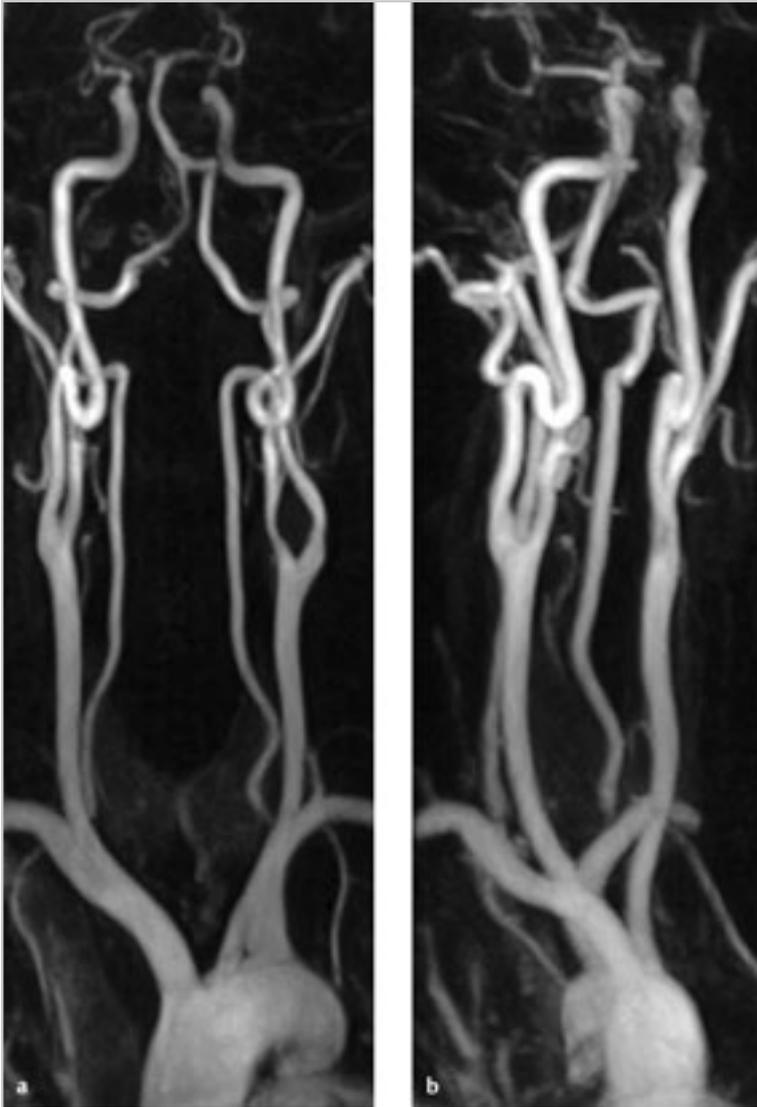
### Patient 4

#### Anamnese und Klinik

Bei dem 48-jährigen Patienten bestanden rezidivierende Schwindelanfälle. Andere Ursachen eines Schwindels konnten ausgeschlossen werden.

#### Befund der MRT-Angiografie

Die MRT-Angiografie der supraaortalen Äste zeigt eine hochgradige Stenose beider Aa. vertebrales (► Abb. 1.16a,b).



**Abb. 1.16** MRT-Angiografie der supraaortalen Äste.

- a Hochgradige Stenose beider Aa. vertebrales.
- b Die hochgradige Stenose beider Aa. vertebrales kann besser dargestellt werden, wenn man das Bild dreht.

### Behandlungsziel

Das Ziel der Behandlung ist die Revaskularisation der supraaortalen Äste, indem die Perfusion der A. vertebralis wiederhergestellt wird.

Diese schwierige und seltene Operationsindikation wurde im Rahmen einer gemeinsamen interdisziplinären Besprechung mit Neurologen gestellt.

### Operation und Verlauf

Durch einen Schnitt an der Vorderseite des rechten M. sternocleidomastoideus wurde wie zur Interposition der A. subclavia der Abgang der rechten A. vertebralis freigelegt. Diese wurde am Abgang ligiert und End-zu-Seit in die A. carotis communis interponiert (► Abb. 1.17).