

Journal für

Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie

www.kup.at/
JNeurolNeurochirPsychiatr

Zeitschrift für Erkrankungen des Nervensystems

**Multimodale Therapie zerebraler
Aneurysmen. Klinische, technische
und angiographische Kriterien in
der Entscheidungsfindung**

Gruber A, Bavinzski G

Standhardt H, Knosp E

Journal für Neurologie

Neurochirurgie und Psychiatrie

2007; 8 (3), 16-26

Homepage:

www.kup.at/

JNeurolNeurochirPsychiatr

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche

Indexed in
EMBASE/Excerpta Medica/BIOBASE/SCOPUS

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031117M,

Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21

Preis: EUR 10,-

77. Jahrestagung

Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie



2026
7.–10. Juni
AACHEN

Personalisierte Neurochirurgie – digital, kompetent, vernetzt

dgnc-kongress.de

Joint Meeting with the Belgian Society and the Dutch
Society of Neurosurgery and Neurosurgeons of Luxembourg

*Werfen Sie einen
Blick ins Programm!*



*Registrieren
Sie sich jetzt!*



Multimodale Therapie zerebraler Aneurysmen

Klinische, technische und angiographische Kriterien in der Entscheidungsfindung

A6546
Softlink

A. Gruber, G. Bavinzski, H. Standhardt, E. Knosp

Zur Behandlung zerebraler Aneurysmen stehen mehrere therapeutische Optionen zur Verfügung. Rekonstruktive Therapieverfahren ermöglichen den Verschluss eines Aneurysmas unter Erhalt des aneurysmatragenden Gefäßes und die anatomisch korrekte Rekonstruktion des Gefäßes in Niveau des Aneurysmahalses. Der Aneurysmaverschluss kann dabei durch mikrochirurgische Clipping oder durch endosakuläre Coil-Embolisation erfolgen. Die Coils können im Fall anatomisch geeigneter Aneurysmen ohne weitere Hilfsmittel, oder im Falle breitbasiger, geometrisch ungünstig konfigurierter Aneurysmen unter Zuhilfenahme sogenannter „Neck-bridging devices“ im Aneurysma abgesetzt werden. Dekonstruktive Therapieverfahren ermöglichen einen definitiven Aneurysmaverschluss durch gleichzeitigen Verschluss des aneurysmatragenden Gefäßes. Die verschiedenen Verfahren, d. h. therapeutischer Gefäßverschluss ohne Bypass-Schutz, therapeutischer Gefäßverschluss nach vorbereitender Bypassoperation und die sogenannten „Flow modification“-Techniken, unterscheiden sich durch die verschiedenen Strategien zur Vermeidung ischämischer Parenchymschäden im arteriellen Gefäßterritorium distal des therapeutischen Gefäßverschlusses. Das durch die verschiedenen Therapieoptionen technisch Machbare muß den individuellen, klinischen und angiographischen Notwendigkeiten angepaßt werden, um einzelfallabhängig die optimale Therapiemodalität auswählen zu können. In diesem Konzept der gleichzeitigen Verfügbarkeit bzw. des Ineinandergreifens verschiedener Therapieformen dürfen die einzelnen Techniken und ihre sich in Fluß befindlichen Indikationen nicht als kompetitive, sondern müssen als komplementäre Optionen gesehen werden, welche bedarfsadaptiert auch zu kombinierten Behandlungsstrategien zusammengezogen werden können.

Schlüsselwörter: Mikrochirurgische Clipping, endovaskuläre Coil-Embolisation, therapeutischer Gefäßverschluss

Multimodality Treatment of Cerebral Aneurysms. Several therapeutic options are available for the treatment of intracranial aneurysms. Among these, reconstructive procedures allow for selective obliteration of the aneurysm without compromising parent artery patency. Selective aneurysm occlusion can be achieved by either microsurgical clipping or endosaccular coil embolization. In anatomically feasible lesions, coils can be deployed inside the aneurysm sac without adjunctive measures, whereas in broad-necked, anatomically unfeasible aneurysms, coil protrusion into the parent artery can be avoided by the use of so-called neck-bridging devices. In contradistinction, deconstructive procedures achieve permanent aneurysm obliteration by therapeutic proximal occlusion of the parent artery and the aneurysm itself. Among the deconstructive techniques, proximal artery occlusion without bypass protection, proximal artery occlusion following a cerebral revascularization procedure, and so-called flow modification techniques are available. Reconstructive and deconstructive therapeutic measures as outlined in this manuscript should be available at centers involved in the treatment of intracranial aneurysms. Multimodality treatment by combined microsurgical and endovascular approaches allow for the safe management of difficult aneurysms with low procedural morbidity rates. *J Neurol Neurochir Psychiatr* 2007; 8 (3): 16–26.

Key words: microsurgical clipping, endovascular treatment, parent artery occlusion

Sakkuläre Aneurysmen stellen im Gegensatz zu den meisten anderen, blutungsbereiten, zerebralen Gefäß-erkrankungen fast ausschließlich erworbene Läsionen dar, deren Prävalenz in westlichen Industrieländern bei etwa 1,62 % der Bevölkerung liegt [1–3]. Traumatische, mykotische und atherosklerotische oder durch Gefäßdissektion entstandene Aneurysmen sind vergleichsweise selten. Die Notwendigkeit zur neurochirurgischen Behandlung zerebraler Aneurysmen ergibt sich aus der potentiellen Rupturgefahr, wobei die für die Aneurysmaruptur typische Subarachnoidalblutung eine schwere, lebensbedrohliche Gehirnblutung darstellt [4–5]. Die Indikation zur Therapie nicht rupturierter zerebraler Aneurysmen ist nach der Publikation mehrerer Studien derzeit Gegenstand intensiver Diskussion (International Study on Unruptured Intracranial Aneurysms, ISUIA) [6–7]. Vor dem Hintergrund der möglichen Konsequenzen der Aneurysmablutung wird international von neurochirurgischer Seite in den meisten Fällen zur Therapie geraten. Der Stellenwert der derzeit wichtigsten Therapieoptionen ist zum momentanen Zeitpunkt ebenfalls Gegenstand intensiver Diskussion (International Subarachnoid Aneurysm Trial, ISAT) [8–9].

Tabelle 1: Techniken zur Behandlung zerebraler Aneurysmen. Die rekonstruktiven Verfahren ermöglichen, unabhängig ob chirurgisch oder endovaskulär, den selektiven Verschluss des Aneurysmas unter Erhaltung und anatomisch korrekter Rekonstruktion des aneurysmatragenden Gefäßes. Zur Rekonstruktion aneurysmatragender Gefäße können bei der endovaskulären Therapie sogenannte „Neck-bridging devices“ Verwendung finden (Ballons, TriSpan, Stents). Die dekonstruktiven Verfahren erreichen den Verschluss des Aneurysmas durch gleichzeitigen Verschluss des aneurysmatragenden Gefäßes („Parent artery occlusion“, PAO), wobei sich die einzelnen Techniken durch die unterschiedlichen, zur Kollateralversorgung des Parenchyms distal des Gefäßverschlusses verwendeten Strategien unterscheiden (Ausnutzung präexistenter Kollateralen, vorbereitende Bypassoperation, Flußumkehr in großen Arterien, graduelle „Drosselung“ des Blutflusses über mehrere Tage bis zum definitiven Verschluss).

„Rekonstruktive“ Verfahren

- Mikrochirurgische Clipping
- Coil-Embolisation
- Coil + „Neck-bridging devices“

„Dekonstruktive“ Verfahren

- Therapeutischer Gefäßverschluss (PAO, „Parent artery occlusion“)
- PAO unter Bypass-Schutz
- „Flow modification“-Techniken

Aus der Universitätsklinik für Neurochirurgie, Medizinische Universität Wien

Korrespondenzadresse: A.o. Univ. Prof. Dr. med. Andreas Gruber, Universitätsklinik für Neurochirurgie, Medizinische Universität Wien, A-1090 Wien, Währinger Gürtel 18–20; E-Mail: andreas.gruber@meduniwien.ac.at

Therapieoptionen

Einen systematischen Überblick über die zur Zeit verfügbaren Möglichkeiten zur Behandlung zerebraler Aneurysmen gibt Tabelle 1.

Rekonstruktive Therapieverfahren ermöglichen den Verschluss eines Aneurysmas unter Erhalt des aneurysmatragenden Gefäßes und anatomisch korrekter Rekonstruktion des Gefäßes in Niveau des Aneurysmahalses. Der Aneurysmaverschluss kann dabei nach Kraniotomie durch mikrochirurgische Clippung oder nach – in der Regel trans-femoralem – Mikrokatheterzugang durch endo-sakculäre Embolisation erfolgen. Die Embolisation wird fast ausschließlich durch Einbringen thrombogener Spiralen, sogenannter Coils, durchgeführt, wobei sich die verwendeten Coils in Form und Oberflächenbeschaffenheit zum Teil wesentlich voneinander unterscheiden. Die Coils können im Fall anatomisch geeigneter Aneurysmen ohne weitere Hilfsmittel, oder wie im Falle breitbasiger, geometrisch ungünstig konfigurierter Aneurysmen, unter Zuhilfenahme sogenannter „Neck-bridging devices“ im Aneurysma stabil verteilt und abgesetzt werden.

Dekonstruktive Therapieverfahren ermöglichen einen definitiven Aneurysmaverschluss durch gleichzeitigen Verschluss des aneurysmatragenden Gefäßes. Die verschiedenen Verfahren, d. h. therapeutischer Gefäßverschluss („Parent artery occlusion“, PAO) ohne Bypass-Schutz, therapeutischer Gefäßverschluss nach vorbereitender Bypassoperation und die sogenannten „Flow modification“-Techniken unterscheiden sich durch die verschiedenen Strategien zur Vermeidung ischämischer Parenchymschäden im arteriellen Gefäßterritorium distal des therapeutischen Gefäßverschlusses.

Das durch verschiedene Therapieoptionen technisch Machbare muß den individuellen, klinischen und gefäßanatomischen Notwendigkeiten angepaßt werden, um einzelfallabhängig die optimale Therapiemodalität auswählen zu können. Aus der in Abbildung 1 dargestellten Entscheidungsmatrix ergibt sich, daß die häufig geführte Diskussion „Clip oder Coil“ eine Vielzahl technischer, klinischer und gefäßmorphologischer Parameter nicht berücksichtigt und in dieser Form häufig nicht zielführend ist.

Die offensichtlichen technischen Vor- und Nachteile der verschiedenen Therapieoptionen sowie deren wesentliche Indikationen und Kontraindikationen sind in Abbildung 1 zusammengefaßt und werden im nachstehenden Text erläutert.

Rekonstruktive Techniken

Mikrochirurgie

Die chirurgische Clippung sakkulärer Aneurysmen stellt seit 1937 das therapeutische Standardverfahren dar, wobei über eine Kraniotomie das aneurysmatragende Gefäßsegment aufgesucht und der Hals des Aneurysmas mit einem Clip von definierter, ausreichender Schlußkraft unter Erhalt des aneurysmatragenden Gefäßes verschlossen wird (Abb. 2a, 3) [10]. Es steht eine große Vielzahl temporärer und definitiver permanenter Clips unterschiedlicher Größe und Form zur Verfügung, um eine optimale anatomische Rekonstruktion des Gefäßes zu ermöglichen.

	Clip	Coil	Stent+Coil	PAO	PAO + EIAB	Flow Modif.
Small neck						
Wide neck						
SAH +						
SAH -						
ICH						
Angio +						
Angio -						
Morb +						
Morb -						
HH +						
HH -						
Ant. Circ.						
Post. Circ.						
VSP +						
VSP -						

Abbildung 1: Indikationen und Kontraindikationen für die verfügbaren Techniken zur Behandlung zerebraler Aneurysmen. In dieser Matrix grün unterlegte Felder stellen allgemein gesprochen gängige bzw. zumindest mögliche Indikationen für die jeweilige Therapieform dar, gelb unterlegte Felder problematische Konstellationen und rot unterlegte Felder Kontraindikationen. Die Indikationen und Kontraindikationen der „Balloon remodelling“-Technik decken sich weitgehend mit denen der endo-sakculären Coil-Embolisation. Da sich, anders als bei der Technik des „Balloon remodellings“ und der Verwendung des nicht mehr verfügbaren „TriSpan Device“, bei der stentgestützten Coil-Embolisation durch die erforderliche thrombozytenaggregations-hemmende Medikation spezielle Problemstellungen ergeben, wurde anstelle des Überbegriffes „Neck-bridging devices“ in dieser Tabelle der Titel „Stent + Coil“ gewählt. (Clip: mikrochirurgische Clippung; Coil: rekonstruktive endosakculäre Embolisation; Stent + Coil: stentgestützte Coil-Embolisation; PAO: „Parent artery occlusion“, d. h. therapeutischer Gefäßverschluss; PAO + EIAB: therapeutischer Gefäßverschluss unter Bypass-Schutz; Flow Modif.: Flow-Modifikations-Techniken; „Small neck“: enger Aneurysmenhals; „Wide neck“: breiter Aneurysmenhals; SAH+: rupturiertes Aneurysma; SAH-: unrupturiertes Aneurysma; ICH: raumfordernde intrazerebrale Blutung durch Aneurysmaruptur; Angio+: Aneurysma- und Gefäßmorphologie aus präoperativer Bildgebung exakt bekannt; Angio-: suboptimale präoperative Bildgebung; Morb+: erhebliche extrazerebrale Begleiterkrankungen mit erhöhtem Operations- und Narkoserisiko; Morb-: keine wesentlichen Begleiterkrankungen; HH+: Hunt-Hess-Stadium > 3; HH-: Hunt-Hess-Stadium ≤ 3; Ant. Circ.: Aneurysma der vorderen Zirkulation; Post. Circ.: Aneurysma der hinteren Zirkulation; VSP+: post-hämorrhagischer Vasospasmus klinisch, angiographisch oder TCD sonographisch bzw. Behandlungszeitpunkt an Tag 4–12 nach Subarachnoidalblutung; VSP-: kein Vasospasmus)

An wesentlichen, über die vergangenen Jahrzehnte schrittweise implementierten Verbesserungen dieser Therapieform sind die Einführung der Mikrochirurgie, das intraoperative neurophysiologische Monitoring, neue Materialien und Designs der Aneurysmaclips, die Optimierung und gegebenenfalls Minimierung der neurochirurgischen Zugänge, die endoskopisch assistierte Präparation und die Fortschritte der neurochirurgischen Intensivmedizin zu nennen.

Da nach Aneurysmaruptur und Blutung in die basalen Zisternen des Gehirns die Hirngefäße in Kontakt mit spasmogenen Blutabbauprodukten geraten, tritt in den ersten 14 Tagen nach Subarachnoidalblutung ein zumeist ausgeprägter zerebraler Vasospasmus auf. Dieser kann in vielen Fällen zu sekundären Hirnschäden durch regional kritische Minderperfusion führen und erhöht die mikrochirurgische Behandlungsmorbidität an den Tagen 4–12 nach Aneurysmaruptur. Aus diesen Gründen ist die mikrochirurgische Therapie in den meisten Fällen in der Akutphase, d. h. binnen 72 Stunden nach Subarachnoidalblutung, danach aber von Ausnahmen abgesehen erst nach Abklingen des zerebralen Vasospasmus wieder sicher

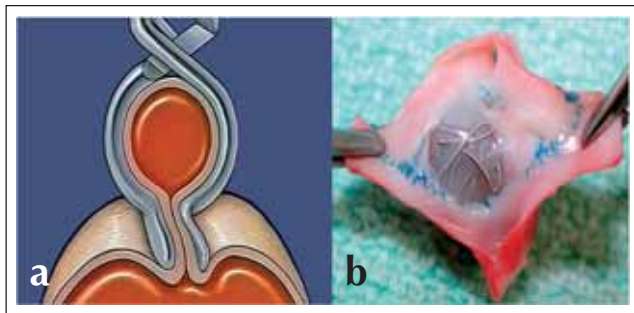


Abbildung 2: Unterschiedliche Mechanismen des Aneurysmaverschlusses bei (a) chirurgischer und (b) endovaskulärer Therapie. Durch mechanischen Verschluss des Aneurysmahalses bei der mikrochirurgischen Clippung werden nicht aneurysmatisch veränderte Gefäßwandabschnitte approximiert. Bei der endovaskulären Therapie wird im Idealfall das intra-aneurysmale Coil-Konvolut in Halsniveau von einer endothelialisierten Gewebeschicht überwachsen und so der Bluteinstrom in das Aneurysma unterbunden.

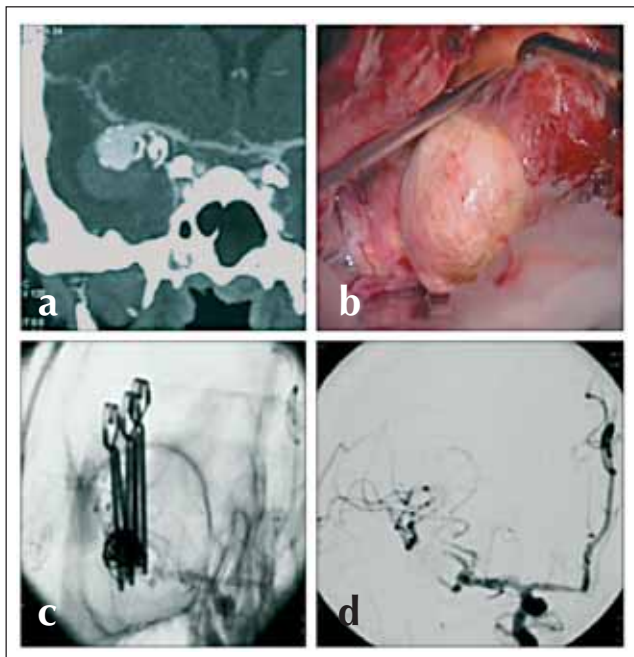


Abbildung 3: Mikrochirurgische Clippung. (a) Präoperative CT-Angiographie, (b) intraoperative Exploration, (c) mikrochirurgische Clippung sowie (d) Dokumentation des Verschlusses durch intraoperative DSA bei teilthrombosiertem, vorembolisiertem Mediabifurkationsaneurysma rechts.

möglich [11, 12]. Im Gegensatz dazu existiert in der rekonstruktiven endovaskulären Therapie rupturierter zerebraler Aneurysmen ein solches „therapeutisches Fenster“ nicht, was einen wesentlichen Vorteil der endovaskulären Therapieform darstellt.

Endosakkuläre Embolisation

Die endovaskuläre Therapie zerebraler Aneurysmen wurde in den vergangenen Jahrzehnten mit absetzbaren Ballons und freien Coils zur Behandlung chirurgisch „schwieriger“ Aneurysmen versucht. Erst durch die Entwicklung elektrolytisch absetzbarer Platinspiralen („Guglielmi Detachable Coils“, GDC) konnte eine Therapieform etabliert werden, durch welche die Mehrzahl zerebraler Aneurysmen endovaskulär sicher behandelt werden konnte [13, 14]. Hierbei wird unter angiographischer Röntgensichtkontrolle über einen Makrokatheter ein Mikrokathetersystem koaxial bis in das zerebrale Gefäßbett und weiter bis in das Aneurysma hochgeführt. Über diesen Mikro-

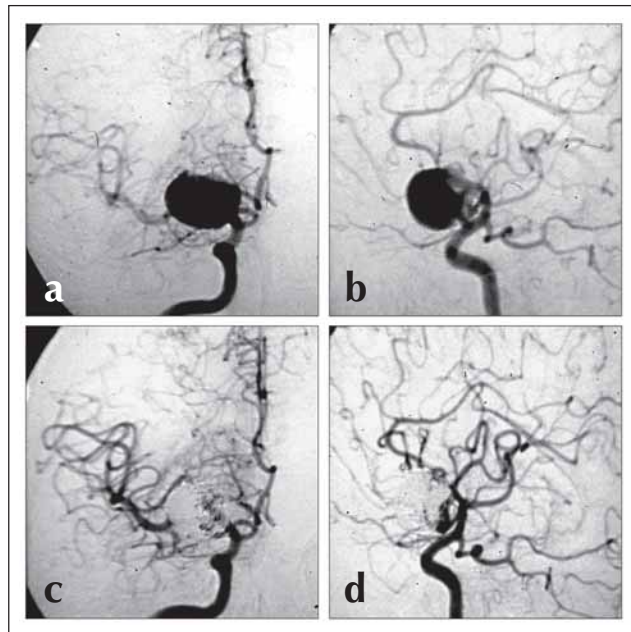


Abbildung 4: Coil-Embolisation. Angiogramme der A. carotis interna in a.p. und seitlicher Projektion (a, b) vor und (c, d) nach endovaskulärer Therapie eines rupturierten Mediabifurkationsaneurysmas rechts.

katheter können thrombogene Coils in das Aneurysma eingebracht und abgesetzt werden, bis der vollständige Aneurysmaverschluss angiographisch dokumentiert ist (Abb. 2b, 4). Durch den genannten elektrolytischen Absetzmechanismus ist das kontrollierte Ablösen der Coils bzw. das Zurückziehen und Bergen ungeeigneter Coils möglich, was den wesentlichen technologischen Fortschritt darstellt und entscheidend zur Verbreitung dieser Technik beigetragen hat [15–33].

In vielen endovaskulären Fallserien und Publikationen sind Aneurysmen der hinteren Zirkulation sowie Aneurysmen komplexer Morphologie überrepräsentiert, was durch die gezielte Zuweisung dieser allgemein als chirurgisch schwierig geltenden Aneurysmen an Zentren mit großer endovaskulärer Expertise zu erklären ist.

Auch wenn in Abbildung 1 eine Vielzahl einander wechselseitig beeinflussender Faktoren angeführt ist, bleibt die grundsätzliche Einschätzung der Operabilität bzw. „Embolisierbarkeit“ des Aneurysmas ohne Eingriffsmorbidität das fundamentale technische Auswahlkriterium zwischen den rekonstruktiven Therapieformen, d. h. mikrochirurgischer Clippung und endosakkulärer Coil-Embolisation (mit und ohne „Neck-bridging devices“). Die wesentliche Limitation der endovaskulären Therapie liegt somit in der Morphologie des zu behandelnden Aneurysmas, welche über die prinzipielle „Embolisierbarkeit“ und die Langzeitstabilität des Aneurysmaverschlusses entscheidet. Die wesentlichen aneurysmamorphologischen Parameter sind hierbei das Größenverhältnis zwischen Aneurysmahals und -fundus, d. h. die sogenannte „Neck:Fundus-Ratio“ und die Weite des Aneurysmahalses an sich [34]. Da auch bei dichtester Füllung des Aneurysmas mit konventionellen Coils nicht mehr als 30–35 % des Volumens mit Coils und der verbleibende Raum mit Thrombus bzw. später mit Granulationsgewebe ausgefüllt sind (Abb. 5), ist diese Form des Aneurysmaverschlusses – im Vergleich zur mikrochirurgischen Clippung – in Einzelfällen weniger stabil, weshalb in den ersten Jahren nach endovaskulärer Therapie regelmäßige Kontrollangiographien und im Bedarfsfall

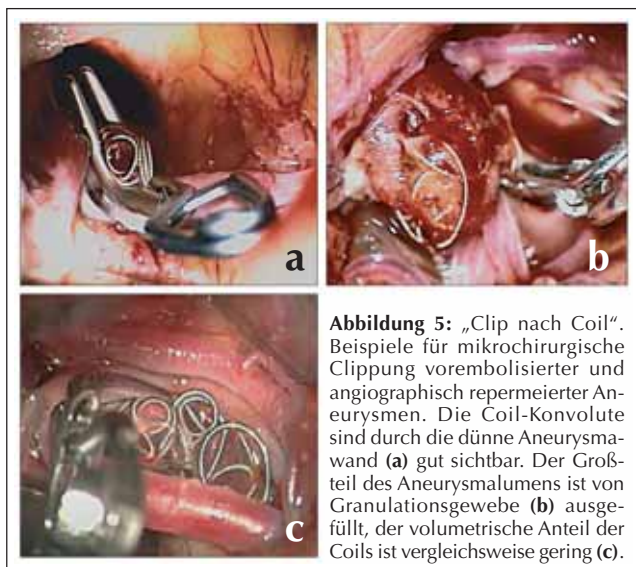


Abbildung 5: „Clip nach Coil“. Beispiele für mikroskopische Clippung vorembolisierter und angiographisch repermeierter Aneurysmen. Die Coil-Konvolute sind durch die dünne Aneurysmawand (a) gut sichtbar. Der Großteil des Aneurysmalumens ist von Granulationsgewebe (b) ausgefüllt, der volumetrische Anteil der Coils ist vergleichsweise gering (c).

und in Abhängigkeit der Morphologie des Rest- bzw. Rezidivaneurysmas eine neuerliche Embolisation oder eine mikroskopische Behandlung erforderlich sein können (Abb. 5) [35–40].

Die Problematik inkompletter chirurgischer Aneurysmaverschlüsse existiert ebenso [41–45], wobei in diesen Fällen Aneurysmareste häufig durch initial suboptimale Clipsetzung mit daraus resultierendem Rest- oder Rezidivaneurysma, und nur in Ausnahmefällen durch ungenügende Schlußkraft des Clips, zu erklären sind. Unsere Erfahrungen aus routinemäßiger intraoperativer Angiographie nach Clipsetzung decken sich im wesentlichen mit denen rezent publizierter Studien [46]. In jenen Fällen, in denen chirurgisches „Misclipping“ nicht durch intra- oder unmittelbar postoperative Kontrollangiographie dokumentiert wurde, ist die endovaskuläre Therapie aufgrund ihres minimal invasiven Charakters eine gute alternative Option zur chirurgischen Re-Exploration (Abb. 6) [47].

Um dem Problem der unbefriedigenden Langzeitstabilität der endosakkulären Coil-Embolisation zerebraler Aneurysmen wirksam entgegenwirken zu können, wurden die Coilsysteme in mehrfacher Hinsicht weiterentwickelt. Bereits früh nach Einführung des elektrolytisch absetzbaren Platin-Coils wurde klar, daß die zur Verfügung stehenden Coilgrößen und -formen nicht ausreichend waren, weshalb Coils mit dreidimensionalem Shape und Coils unterschiedlichster Größe und Flexibilität („soft“, „ultra-soft“ u. ä.) entwickelt wurden. Nachdem so die Stabilität des Coilkonstruktes merklich verbessert werden konnte, wurde in einem zweiten Entwicklungsschritt der Versuch unternommen, die Stabilität des verbleibenden, nicht durch Coils ausgefüllten Aneurysmalumens zu erhöhen. Derzeit geht die Entwicklung in mehrere Richtungen, wobei drei Behandlungsphilosophien im besonderen zu erwähnen sind: (1) der Einsatz bioaktiv gecoateter Coils, welche durch ihre Oberflächenbeschichtung eine heftigere und langfristig stabilere Granulationsgewebsbildung im embolisierten Aneurysma hervorrufen sollen [48–50]; (2) die Verwendung von expandierenden Coils, welche nach Absetzen im Aneurysma durch Schwellung die verbliebenen Freiräume zwischen den Coilmaschen auffüllen und so Packungsdichten von 100 % ermöglichen können [51–54]; (3) die Verwendung flüssiger, im Aneurysma aushärtender Embolisationsmaterialien (Onyx) [55–57]. End-

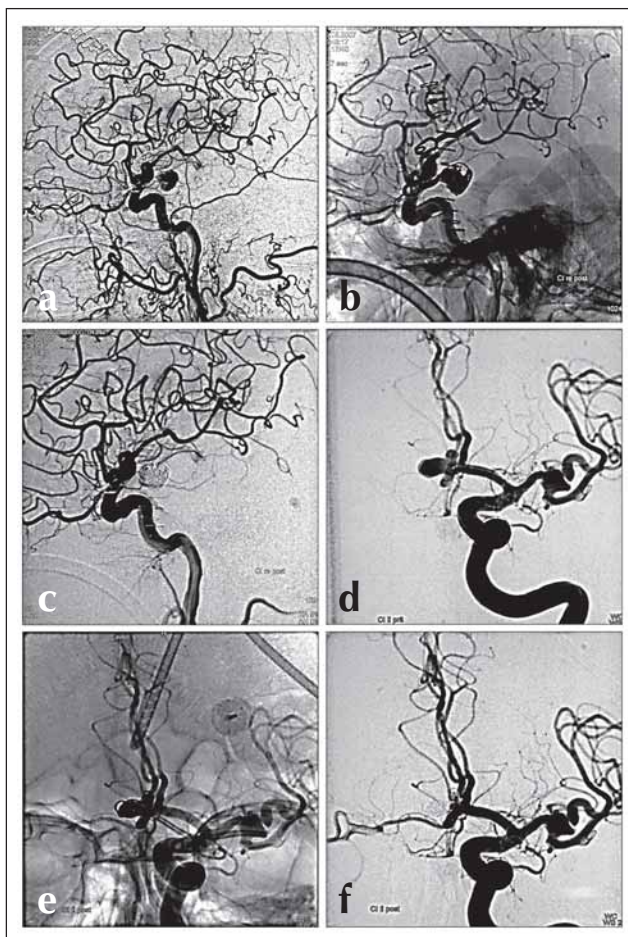


Abbildung 6: „Coil nach Clip“. Beispiele für endovaskuläre Coil-Embolisation bei Rest- (a–c) bzw. Rezidivaneurysmen (d–f) nach mikroskopischer Therapie. Coil-Embolisation von Aneurysmarest 2 Wochen nach Clippung eines rupturierten Aneurysmas der A. carotis interna rechts am Abgang der A. communicans posterior (a–c). Coil-Embolisation von Aneurysmarezidiv 8 Jahre nach Klippung von bledem Aneurysma der A. communicans anterior (d–f). An der linken A. cerebri media findet sich nach chirurgischer Clippung eines Riesenaneurysmas und Clip-Rekonstruktion der Mediabifurkation am ehemaligen Aneurysmahals ein kleines schüssel-förmiges Residuum.

gültige Aussagen über mögliche Vorteile, Langzeitstabilität des Aneurysmaverschlusses und Eingriffsmorbiditäten dieser Techniken liegen in großen Populationen noch nicht vor.

Coil-Embolisation unter Zuhilfenahme sogenannter „Neck-bridging devices“

Wesentliche Vorteile der mikroskopischen Therapieopie gegenüber den endovaskulären Techniken lagen bis vor kurzem neben der Dauerhaftigkeit des Aneurysmaverschlusses durch Clippung in der Möglichkeit der anatomisch korrekten Gefäßrekonstruktion durch Applikation mehrerer Clips unterschiedlicher Form und Größe (Abb. 7a). Da die Weite des Aneurysmahalses wesentlichen Einfluß auf die endovaskuläre Behandelbarkeit und die Langzeitstabilität des Aneurysmaverschlusses hat, wurden in den vergangenen Jahren komplementäre Therapieformen entwickelt, um die sich aus der Weite des Aneurysmahalses ergebenden, endovaskulär technischen Probleme zu reduzieren bzw. gänzlich zu eliminieren. Eine wesentliche Entwicklung stellt dabei die Verwendung sogenannter „Neck-bridging devices“ dar, welche temporär während der Coilapplikation oder permanent implantiert den weiten Aneurysmahals, d. h. das im Verhältnis zum Fundusquerschnitt große Halslumen, endovaskulär über-

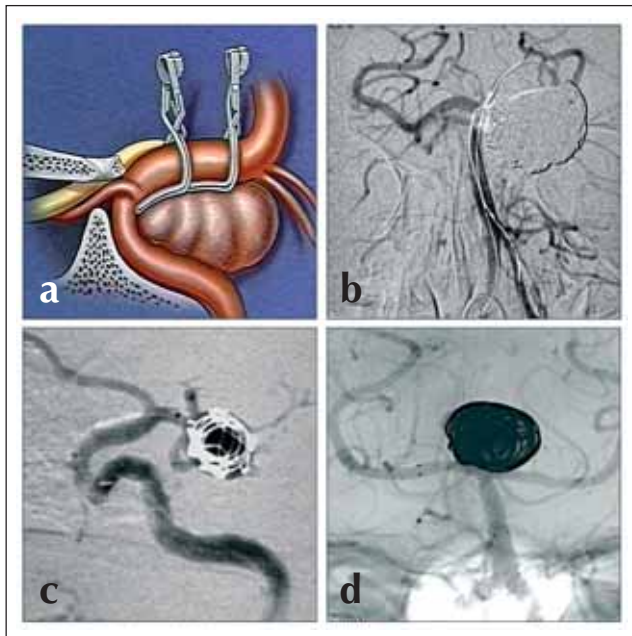


Abbildung 7: Ein wesentlicher Vorteil der chirurgischen Therapie gegenüber den endovaskulären Verfahren lag in der „rekonstruktiven Kapazität“ des Aneurysmaclips, d. h. der Fähigkeit, komplexe Aneurysmahalskonfigurationen anatomisch korrekt unter Erhalt des aneurysmatragenden Gefäßes rekonstruieren zu können (a). Durch sogenannte „Neck-bridging devices“ ist das in vielen Fällen auch durch endovaskuläre Techniken möglich geworden („Balloon remodelling“ [b], TriSpan Device [c], stentgestützte Coil-Embolisation [d]).

brücken und dadurch ein Zurückweichen der implantierten Coils durch den Aneurysmahals in das tragende Gefäß verhindern. Dadurch kann in manchen Fällen die endovaskuläre Therapie überhaupt erst ermöglicht werden, in anderen Fällen kann die Packungsdichte der endosakkulär eingebrachten Coils entscheidend erhöht und damit die Langzeitstabilität optimiert werden.

Die Methode des sogenannten „Balloon remodellings“ stellt die bekannteste Form der Verwendung temporärer „Neck-bridging devices“ dar (Abb. 7b) [58–61]. Hierbei wird über einen bifemorale Zugang das aneurysmatragende Segment der Hirnarterie mit zwei Mikrokathetersystemen begangen. Das erste Kathetersystem ist der zur Aneurysmaembolisation verwendete Mikrokatheter, welcher in den Aneurysmafundus navigiert wird. Das zweite Mikrokathetersystem ist ein Mikrobalkonkatheter, welcher temporär über dem Aneurysmaeingang inflatiert werden kann. Die daraus resultierenden temporären Gefäßverschlüssen liegen im Bereich weniger Sekunden und sind damit auch in der Akutphase nach aneurysmatischer Subarachnoidalblutung akzeptabel. Während der Inflation des Ballons wird über den im Aneurysma liegenden Mikrokatheter ein Coil abgesetzt. In typischer Weise findet diese Methode erst gegen Ende des endovaskulären Eingriffes Verwendung, d. h. während der Embolisation des kritisch weiten Aneurysmahalses. Durch Deformation des Coils während des ballongestützten Hochführens und Verteilens im Aneurysma behält der Coil auch nach Deflation des Ballons seine Form und weicht nicht aus dem Aneurysmahals in das tragende Gefäß hinaus. Neben der mehrfach publizierten Methode des „Balloon remodellings“ besteht die Möglichkeit, durch zusätzliche Mikrokatheter oder Mikroführungsdrähte eine endovaskuläre temporäre Überbrückung des Aneurysmahalses während der Zeit der Embolisation zu versuchen, wobei die Stabilität solcher behelfsmäßiger Konstrukte in der Regel sub-

optimal ist. Der wesentliche Vorteil der „Balloon remodelling“-Methode besteht darin, daß für das Überbrücken des Aneurysmahalses kein permanentes Implantat erforderlich ist. In der Akutphase nach aneurysmatischer Subarachnoidalblutung kann dies von entscheidender Bedeutung sein, da für die Verwendung anderer „Neck-bridging devices“, d. h. Stents, eine doppelte thrombozytenaggregationshemmende Medikation erforderlich ist und dadurch die in der Akutphase nach Aneurysmaruptur erforderlichen Eingriffe, z. B. Hirnpunktionen zur Implantation von Hirndrucksonden oder externe Ventrikeldrainagen zur Therapie akuter posthämorrhagischer Liquorzirkulationsstörungen, erschwert bzw. die Morbidität solcher Eingriffe deutlich erhöht werden würden (Abb. 1).

Eine elegante Möglichkeit zur Embolisation breitbasiger Bifurkationsaneurysmen stellte die nicht mehr verfügbare TriSpan-Technologie dar (Abb. 7c) [62, 63]. Hierbei wurde, ebenfalls über einen bifemorale Zugang, zusätzlich zum eigentlichen Mikrokatheter ein zweites Kathetersystem bis in das zu embolisierende Aneurysma navigiert. Über dieses wurde das TriSpan-Device hochgeführt, im Aneurysma in Halsnähe – einem verkehrt aufgespannten Regenschirm vergleichbar – entfaltet und fungierte somit als „doppelter Boden“ in Aneurysmahalsniveau, wodurch das Zurückweichen der Coils effektiv verhindert werden konnte. Da zur Verwendung dieser Technik keine zusätzliche gerinnungshemmende Medikation erforderlich war, war die TriSpan-gestützte Coil-Embolisation auch in der Akutphase nach aneurysmatischer Subarachnoidalblutung sicher einsetzbar.

Mit der Entwicklung hochflexibler, selbstexpandierender intrakranieller Nitinolstentsysteme ist der Einsatz der stentgestützten Coil-Embolisation mit niedriger Morbidität möglich geworden [64–69]. Alle zur Zeit verfügbaren Stentsysteme dienen ausschließlich als „Neck-bridging devices“, der Einsatz von „Covered stents“ im intrakraniellen Bereich ist wegen der möglichen Gefährdung perforierender Äste in absehbarer Zeit nicht möglich; die Grenzen dieser Therapieform liegen im noch zu ungenauen Absetzverhalten solcher Stents sowie in der – im Vergleich zur mikrochirurgischen Exploration – weiterhin suboptimalen angiographischen Identifikation kleiner perforierender Gefäße. Im Gegensatz dazu ist die Behandlung extraduraler Aneurysmen, z. B. intrakavernöser Riesenaneurysmen der A. carotis interna, durch „Covered stents“ in Erprobung und in naher Zukunft wahrscheinlich mit vertretbarer Eingriffsmorbidität möglich [70]. Die derzeit verwendeten intrakraniellen Stents stellen sogenannte „Non-occlusive devices“ dar, d. h. nach Stentimplantation ist die endovaskuläre Behandlung des Aneurysmas durch Coil-Embolisation – in selber Sitzung mit der Stentimplantation oder im Intervall von mehreren Wochen – weiterhin notwendig (Abb. 7d). In seltenen Fällen wurde die Spontanthrombose übersteter Aneurysmen beobachtet, weshalb ein abwartendes, mehrzeitiges Vorgehen gerechtfertigt erscheint. Da die verwendeten selbstexpandierenden Stentsysteme vergleichsweise geringe Radialkräfte aufweisen, sind die aus der kardiologischen Literatur bekannten Probleme der In-Stent-Restenose nicht bzw. in deutlich geringerem Ausmaß beobachtet worden [71, 72]. Für die intrazerebrale Stentimplantation ist eine thrombozytenaggregationshemmende Prä- und anschließende einjährige Dauermedikation erforderlich, wodurch der Einsatz dieser Methode in der Akutphase nach Aneurysmaruptur bzw. perioperativ problematisch ist (Abb. 1). Die Entwicklung heparincoater Stentsysteme, wodurch laut Herstellerangaben bis zu

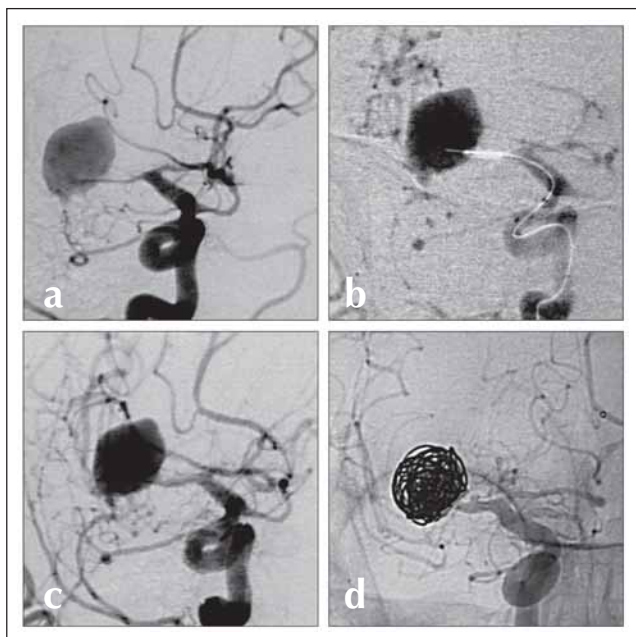


Abbildung 8: Präinterventionelle Ballon-Angioplastie. Angiogramme der rechten A. carotis interna zeigen einen schweren segmentalen posthämorrhagischen Vasospasmus des Mediahauptstammes am Tag 7 nach aneurysmatischer Subarachnoidalblutung (a). Eine chirurgische Versorgung des Aneurysmas ist nicht bzw. nur unter erheblicher Morbidität möglich. Nach Ballon-Angioplastie des spastischen Mediahauptstammes (b) und merklicher Zunahme des Gefäßkalibers (c) ist eine sichere Begehung des Aneurysmas mit einem Mikrokatheter und selektive Coil-Embolisation (d) möglich.

90 % der gerinnungshemmenden Medikation eingespart werden könnte, ist vorgesehen, eine Anwendung ist in den kommenden Jahren allerdings unwahrscheinlich.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß den wesentlichen Vorteilen der endovaskulären Therapieoption, d. h. minimale Invasivität der Behandlung bei kritisch kranken Patienten in der Akutphase nach Aneurysmaruptur [73] und bei Patienten mit schwerer allgemeiner Begleitmorbidität [74], Einsetzbarkeit auch in der Phase des zerebralen Vasospasmus und möglicher gleichzeitiger endovaskulärer Therapie des Vasospasmus durch i. a. Papaverinapplikation [75] oder Angioplastie (Abb. 8) [76], die im Vergleich zur Aneurysmaclippung unverändert geringere mechanische Stabilität der Coils gegenübersteht. Durch die stetige Weiterentwicklung und Verbesserung der endovaskulären Materialien bzw. Etablierung neuer Verfahren wurden Aneurysmen „embolisierbar“, welche noch vor Jahren als endovaskulär unbehandelbar eingestuft worden wären. Im speziellen ist durch die Einführung der Stenttechnologie eine „endovaskuläre Rekonstruktion“ des Aneurysmahalses in vielen Fällen möglich geworden, welche davor ausschließlich chirurgisch möglich war (Abb. 7).

Der Stellenwert der beiden rekonstruktiven Therapieformen, d. h. mikrochirurgische Clippung und endosakuläre Coil-Embolisation (ohne Zuhilfenahme der „Neck-bridging devices“) wurde im Rahmen einer internationalen multi-zentrischen Studie beleuchtet (International Subarachnoid Aneurysm Trial, ISAT) [8–9], wobei kurz- und mittelfristige Ergebnisse – unter Vernachlässigung einer möglichen, durch Reangiographie, Coil-Instabilität, Nachblutung und Nachbehandlung bedingten Folgemorbidität – für selektierte Populationen Vorteile für die endovaskuläre Therapieform gezeigt haben. Die reliable Aussage der ISAT-Studie ist, daß rupturierte Aneurysmen, für welche chirurgi-

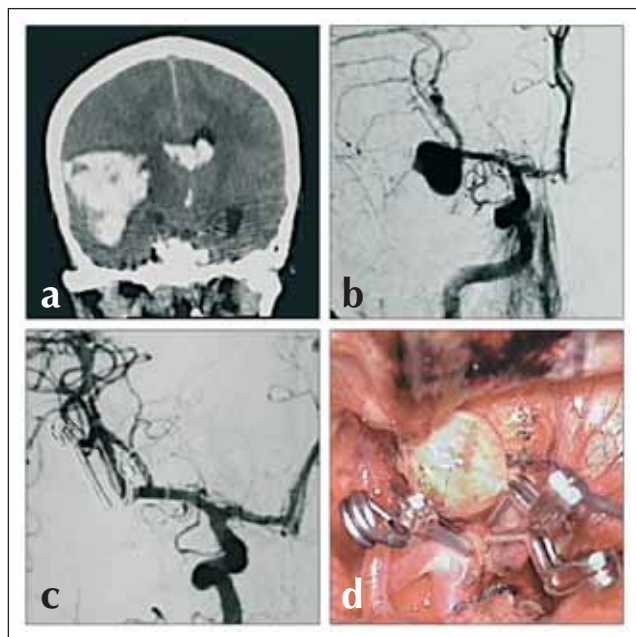


Abbildung 9: Mikrochirurgische Clippung von schmalbasigem Mediabifurkationsaneurysma rechts in der Akutphase nach aneurysmatischer Subarachnoidalblutung und raumfordernder intrazerebraler Blutung rechts temporal. Radiologische (a) und klinische Zeichen der Herniation zwingen zur akuten Hämatomentleerung und chirurgischen Therapie des an sich embolisierbaren (b) Aneurysmas. Intraoperative DSA (c) und mikrochirurgische Inspektion (d) zeigen den Aneurysmaverschluß.

sche und endovaskuläre Therapie gleichermaßen möglich sind („Clinical equipoise“), präferentiell endovaskulär behandelt werden sollten. Diese der ISAT-Studie zugrundeliegende und als wesentliches Einschlußkriterium herangezogene „Clinical equipoise“ bestand nur in der Minderzahl der im Studienzeitraum an den teilnehmenden Zentren behandelten rupturierten Aneurysmen (< 20 % der Fälle). Die Mehrzahl der während der ISAT-Studie gescreenten Aneurysmapatienten erwies sich als eindeutig „chirurgischer“ oder „endovaskulärer“ Fall und wurde deshalb weder randomisiert noch in die ISAT-Studie aufgenommen, sondern der offensichtlich zu präferierenden Therapieform zugeführt. Die ISAT-Studie dokumentiert somit nicht die Überlegenheit der endovaskulären Therapie über die Mikrochirurgie, sondern belegt in der Subpopulation der rupturierten, endovaskulär und chirurgisch gleich gut behandelbaren Aneurysmen die klinischen Vorteile der Embolisation. Die Autoren der ISAT-Studie sind sich dieser erheblichen Einschränkung bewußt und formulieren abschließend: „However, these data cannot be extrapolated to all other ruptured aneurysms, or to the entire population of unruptured aneurysms“ [8]. Keinesfalls wird also die Embolisation endovaskulär schwieriger, chirurgisch vergleichsweise einfacher Aneurysmen empfohlen. Die Frage nach der „besseren“ Therapieform sollte daher nur fallabhängig gestellt und die Antwort nicht ausschließlich anhand mikrochirurgisch- oder endovaskulär-technischer Überlegungen gegeben werden (Abb. 1); manchmal ist die „Embolisierbarkeit“ eines Aneurysmas einer unter mehreren Parametern, welcher hinter den akuten klinischen Notwendigkeiten zurückstehen muß (Abb. 9).

Dekonstruktive Techniken

Für komplexe zerebrale Aneurysmen, bei welchen der selektive Verschluß durch Clippung oder intra-aneurysmale Coil-Embolisation schwierig ist, steht als alternative

Behandlungsform der chirurgische bzw. endovaskuläre Verschluss des aneurysmatragenden Gefäßes an oder proximal der Stelle des Aneurysmas zur Verfügung [77–79]. In Abhängigkeit der Aneurysmalokalisation, der präexistenten Kollateralkreislaufsituation und der Ergebnisse neurophysiologischer und klinischer Testungen kann der therapeutische Gefäßverschluss ohne vorausgehende Revaskularisationsoperation [80, 81] oder unter Bypass-Schutz [82–90] erfolgen.

Therapeutischer Gefäßverschluss

In diesen Fällen wird nach angiographischem Studium der Kollateralkreislaufsituation beim wachen Patienten eine Ballontestokklusion des aneurysmatragenden Gefäßes durchgeführt [81], wobei ein Silikon- bzw. Latexballon angiographisch unter Röntgensichtkontrolle vor das Aneurysma an die Stelle des beabsichtigten Gefäßverschlusses hochgeführt wird. Der Ballon wird in dieser Position inflatiert, wobei dieser temporäre Gefäßverschluss unter systemischer Heparinisierung, neurologischer Kontrolle des Patienten und unter induzierter Hypotension durchgeführt wird. Die Dauer der Testokklusion beträgt in der Regel 20–30 Minuten. Ist nach neurologischen und angiographischen Kriterien (symmetrische angiographische Füllung beider Hemisphären auch in venöser Phase) der Gefäßverschluss möglich, so wird der Testballon entleert, zurückgezogen und in Abhängigkeit der Aneurysmalokalisation und -morphologie der definitive Gefäßverschluss mit Ballons oder absetzbaren thrombogenen Coils durchgeführt (Abb. 10).

Therapeutischer Gefäßverschluss unter Bypass-Schutz

Diese Eingriffe werden in der Regel mehrzeitig durchgeführt. In einem ersten Behandlungsschritt wird die aneurysmatragende Hemisphäre über eine Externa-Interna-Anastomose revaskularisiert. Es ist unsere Erfahrung, daß hierfür eine Low-flow-Doppelanastomose ausreichend ist (zwei A. temporalis superficialis-Anastomosen zur A. cerebri media, wobei die kortikalen Anschlußgefäße in der Regel kaliberstarke Äste der zentralen und angulären Astgruppe in ihrem operkulären Segment sind). Das in der Literatur häufig beschriebene einzeitige Verfahren der obliteratorischen Revaskularisation, d. h. Anastomosenchirurgie mit Gefäßverschluß in derselben Operation, macht die Verwendung kaliber- und flowstärkerer Anastomosen (A. radialis- oder Veneninterponat) erforderlich, da die Möglichkeit zur klinischen Testung des Patienten während der Phase des Gefäßverschlusses fehlt. Diese Möglichkeit ist bei dem von uns bevorzugten zweizeitigen Vorgehen gegeben. Achtundvierzig Stunden nach der Bypassoperation wird beim wachen Patienten nach angiographischer Dokumentation der Durchgängigkeit der Bypässe eine Ballontestokklusion des aneurysmatragenden Gefäßes durchgeführt. Ist nach neurologischen und angiographischen Kriterien der Gefäßverschluss möglich, so wird der Testballon entleert, zurückgezogen und in Abhängigkeit der Aneurysmalokalisation und -morphologie der definitive Gefäßverschluss mit Ballons oder absetzbaren thrombogenen Coils durchgeführt (Abb. 11).

Flow-Modifikation

In seltenen Fällen kann anstelle der zuvor beschriebenen Techniken eine sogenannte „Flow-Modifikation“ durchgeführt werden, wobei entweder durch gezielten proximalen chirurgischen oder endovaskulären Gefäßverschluss eine abrupte Flußumkehr („Flow reversal“ nach chirurgischer oder endovaskulärer PAO; Abb. 12) [91, 92] oder durch „Drosselung“ eine graduelle Änderung der Hämodynamik

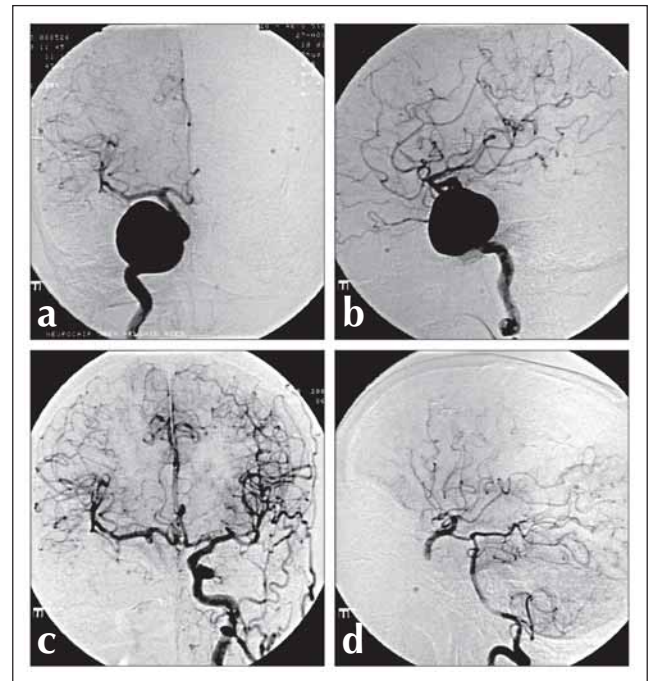


Abbildung 10: Therapeutischer endovaskulärer Gefäßverschluss (PAO, „Parent artery occlusion“) bei intrakavernösem Riesenaneurysma der A. carotis interna rechts (a, b). Nach Ballontestokklusion (BTO) über 30 Minuten ist der proximale Gefäßverschluss mit absetzbaren Ballons bei angiographisch dokumentierter guter Kollateralkreislaufsituation (A. communicans anterior-cross flow [c], A. communicans posterior-cross flow [d]) ohne vorbereitende Revaskularisationsoperation möglich.

im aneurysmatragenden Gefäßsegment bis zur Thrombose des Aneurysmas (chirurgische Tourniquet-Technik bzw. endovaskuläres Prinzip der Drosselung unter Heparinisierung; Abb. 13) [93–95] induziert werden.

Die wesentlichen Vorteile der dekonstruktiven Techniken bestehen darin, daß Aneurysmen, deren chirurgische und endovaskuläre rekonstruktive Therapie als schwierig eingeschätzt wird, durch proximalen Gefäßverschluss, ohne chirurgische und endovaskuläre Morbidität der Exploration des Aneurysmas, zur Thrombose gebracht werden können. Die Aneurysmageometrie, vor allem die Halsmorphologie, spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Auf diese Weise verschlossene Riesenaneurysmen weisen häufig beträchtliche Größenreduktionen im ersten Jahr nach der Behandlung auf.

Eine wesentliche Kontraindikation für den therapeutischen Gefäßverschluss besteht in der Akutphase nach aneurysmatischer Subarachnoidalblutung. In der Phase des post-hämorrhagischen Vasospasmus sind die Kollateralkreislaufkapazitäten zur Kompensation des Gefäßverschlusses erschöpft bzw. in nicht vorhersehbarer Weise beeinträchtigt. Die Daten der ersten Cooperative Aneurysm Study belegen diese Erfahrung [96]. In der Akutphase nach Aneurysmaruptur ist der therapeutische Gefäßverschluss auch unter Bypass-Schutz nicht sicher möglich.

Ausblick

Durch das Konzept der gleichzeitigen Verfügbarkeit und des Ineinandergreifens der dargestellten Therapieformen ist auch die Behandlung „schwieriger“ Aneurysmen, d. h. komplexer Aneurysmen und Riesenaneurysmen, fusiformer Aneurysmen und akut rupturierter Aneurysmen in kri-

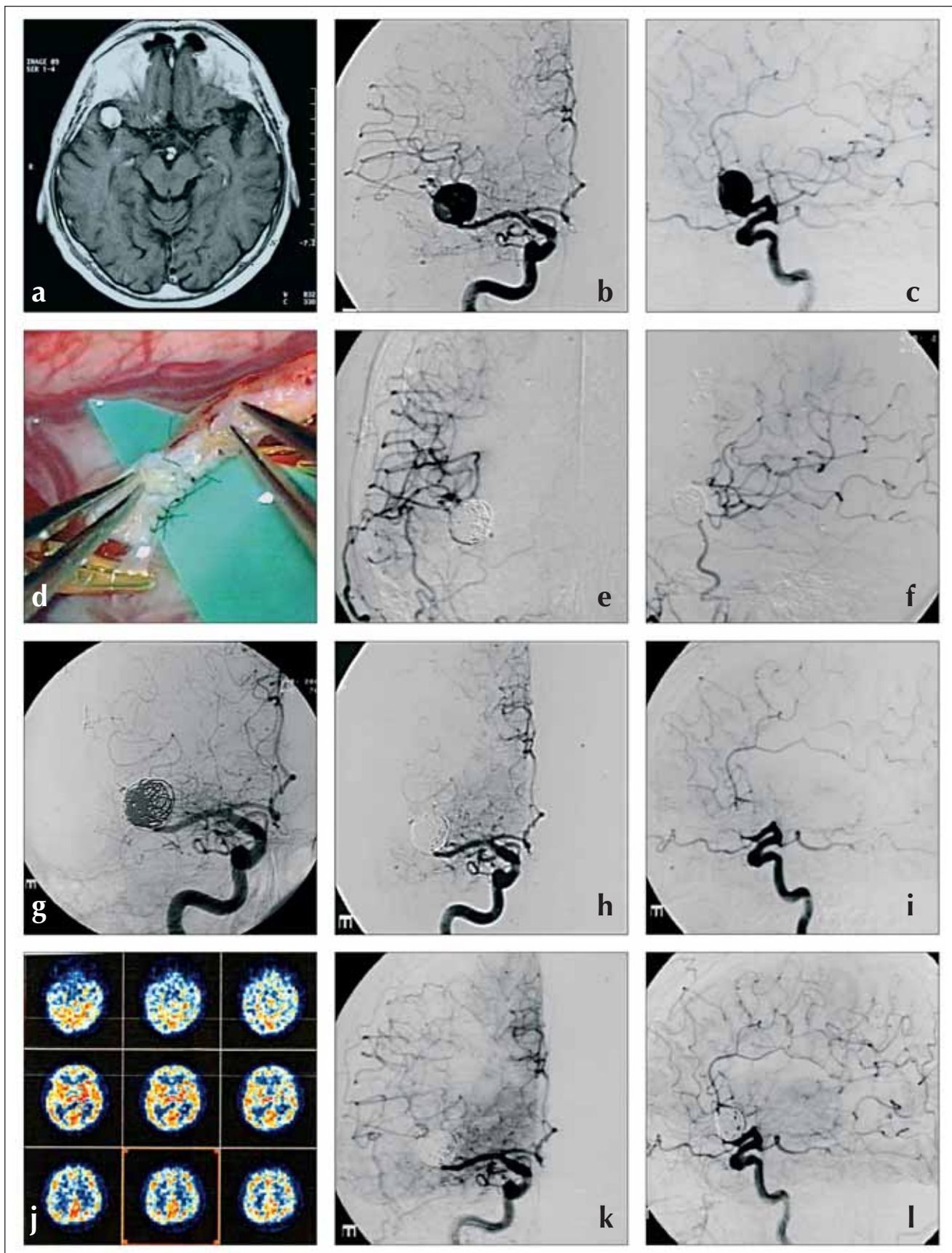


Abbildung 11: Kombinierte Therapie von komplexem breitbasigem Mediabifurkationsaneurysma (a–c) durch endovaskulären Gefäßverschluss unter Bypass-Schutz. Zwei Tage nach einer vorbereitenden Externa-Interna-Doppelanastomose (d–f) zur Kollateralversorgung des rechtshirnigen Mediastromgebietes wird das Mediaaneurysma unter Verschluss der Bifurkation mit absetzbaren Platin-Coils embolisiert (PAO) (g–i). Spätere HMPAO-SPECT-Untersuchungen (j) demonstrieren gute Kollateralversorgung der rechten Hemisphäre über die Doppelanastomose. Kontrollangiogramme veranschaulichen die postinterventionellen Durchblutungsverhältnisse der rechten Hemisphäre (k–l). Bei Füllung der A. carotis communis rechts stellen sich über die A. carotis interna orthograd perfundiert die rechte Anteriorgruppe sowie der rechte Mediahauptstamm mit den striolentikulär perforierenden Ästen bis zum Ort des Gefäßverschlusses dar. Über die Bypässe füllt sich das rechtshirnige Mediaterritorium distal des Gefäßverschlusses retrograd. Das Aneurysma ist verschlossen.

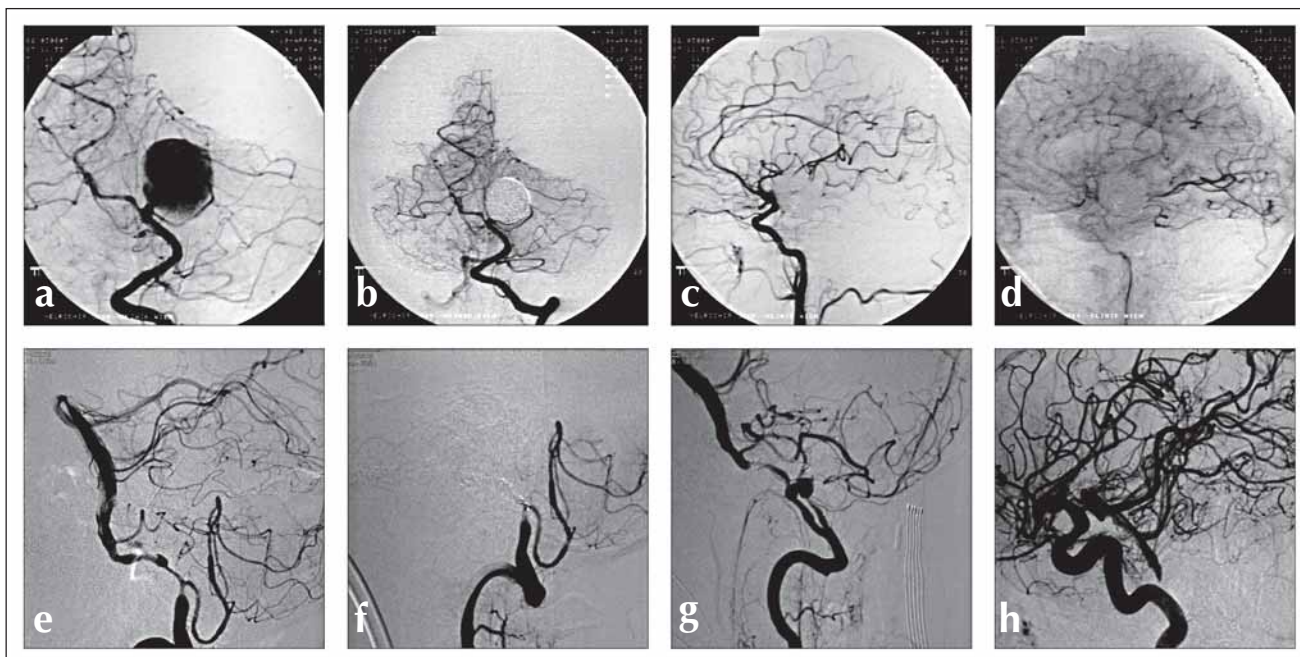


Abbildung 12: „Flow modification“-Technik durch sogenanntes „Flow reversal“. Fall 1 (a–d): Breitbasiges Riesenaneurysma der A. cerebri posterior links distal des Abganges der perforierenden Äste (a). Nach Ballontestokklusion wird das Aneurysma unter Verschluss der linken A. cerebri posterior mit absetzbaren Platin-Coils verschlossen (b). Die A. cerebri posterior distal des Aneurysmas füllt sich retrograd über Kollateralkreisläufe aus dem Stromgebiet der A. carotis interna links (c–d). Fall 2 (e–h): Subarachnoidalblutung bei beidseitiger spontaner Dissektion der Vertebralarterien und unklarer Blutungsquelle. Nach PAO der rechten A. vertebralis distal des Abganges der A. cerebelli inferior posterior (e–f) wird die linke Vertebralarterie (g) nach Ballontestokklusion und dokumentierter Flußumkehr in der A. basilaris (h) durch guten beidseitigen Cross flow über die Aa. communicantes posteriores ebenfalls ohne ischämische Komplikation verschlossen.

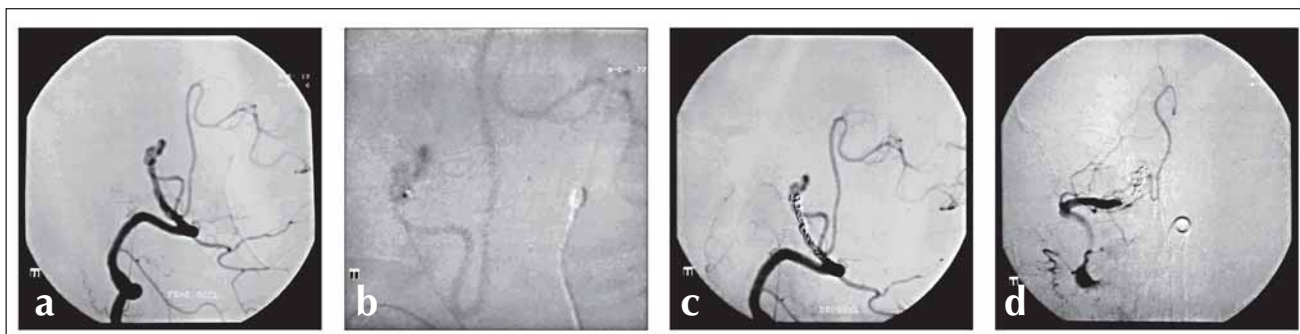


Abbildung 13: „Flow modification“-Technik durch „Drosselung“. Angiogramme der rechten A. vertebralis in seitlicher Projektion (a) sowie intracraniesmale Mikroangiogramme (b) nach schwerer Subarachnoidalblutung zeigen ein rupturiertes Vertebralisaneurysma, welches den Abgang der rechten A. cerebelli inferior posterior inkorporiert. Durch partielle Coil-Embolisation der rechten Vertebralarterie in ihrem intraduralen Verlauf proximal des Aneurysmas (c) und gleichzeitiger Heparinisierung über 7 Tage kommt es zu einer langsam progredienten Thrombose dieses Segmentes der Vertebralarterie bei gleichzeitiger Entstehung suffizienter Kollateralkreislaufsysteme für die rechte A. cerebelli inferior posterior (d).

tisch kranken Patienten mit geringer Morbidität möglich. Es ist von großer Bedeutung, die beschriebenen Therapieformen und ihre in Fluß befindlichen Indikationen nicht als kompetitive, sondern als komplementäre Optionen zu sehen, welche bedarfsadaptiert zu kombinierten Behandlungsstrategien zusammengezogen (therapeutischer Gefäßverschluss unter Bypass-Schutz bei komplexen Aneurysmen; Abb. 11) oder als „Bail out“-Strategien (mikrochirurgische Clipping repermeierter vorembolisierter Aneurysmen, Abb. 5; mikrochirurgische Bergung dislozierter Coils; mikrochirurgische Hämatomentleerung bei endovaskulärer Aneurysmaperforation; Coil-Embolisation nach chirurgischem Misclipping, Abb. 6; Überstentung dislozierter Coilschlingen im Bereich des Aneurysmahalses) genutzt werden können.

Literatur:

1. Jellinger K. Pathology and aetiology of intracranial aneurysms. In: Pia HW, Langmaid C, Zierski J (eds). Cerebral Aneurysms: Advances in Diagnosis and Therapy. Springer, Berlin-New York, 1979; 5–19.
2. Kim C, Cervos-Navarro J, Kikuchi H, Hashimoto N, Hazama F. Degenerative changes in the internal elastic lamina relating to the development of saccular cerebral aneurysms. Acta Neurochir (Wien) 1993; 121: 76–81.
3. Ostergaard JR, Reske-Nielsen E, Oxlund H. Histological and morphometric observations on the reticular fibres in the arterial beds of patients with ruptured intracranial aneurysms. Neurosurgery 1987; 20: 554–8.
4. Hunt WE, Hess RM. Surgical risk as related to time of intervention in the repair of intracranial aneurysms. J Neurosurg 1968; 28: 14–20.
5. Jennett B, Bond M. Assessment of outcome after severe brain injury. Lancet 1975; 1: 480–4.
6. Unruptured intracranial aneurysms – risk of rupture and risks of surgical intervention. International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms Investigators. N Engl J Med 1998; 339: 1725–33.
7. Wiebers DO, Whisnant JP, Huston J, Meissner I, Brown RD, Piepgras DG, Forbes GS, Thielens K, Nichols D, O’Fallon WM, Peacock J, Jaeger L, Kassell NF, Kongable-Beckman GL, Torner JC; International Study of Unruptured Intracranial Aneurysms Investigators. Unruptured intracranial aneurysms: natural history, clinical outcome, and risks of surgical and endovascular treatment. Lancet 2003; 362: 103–10.
8. Molyneux AJ, Kerr R, Stratton I, Sandercock P, Clarke M, Shrimpton J, Holman R; International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) Collabora-

- tive Group. International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomized trial. *Lancet* 2002; 360: 1267–74.
9. Molyneux AJ, Kerr RS, Yu LM, Clarke M, Sneade M, Yarnold JA, Sandercock P; International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) Collaborative Group. International subarachnoid aneurysm trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised comparison of effects on survival, dependency, seizures, rebleeding, subgroups, and aneurysm occlusion. *Lancet* 2005; 366: 783–5.
10. Dandy WE. Intracranial aneurysm of the internal carotid artery. Cured by operation. *Ann Surg* 1938; 107: 654–9.
11. Kassell NF, Torner JC, Haley EC, Jane JA, Adams HP, Kongable G. The International Cooperative Study on the Timing of Aneurysm Surgery. Part 1: Overall management results. *J Neurosurg* 1990; 73: 18–36.
12. Kassell NF, Torner JC, Haley EC, Jane JA, Haley EC, Adams HP. The International Cooperative Study on the Timing of Aneurysm Surgery. Part 2: Surgical results. *J Neurosurg* 1990; 73: 37–47.
13. Guglielmi G, Vinuela F, Sepetka I, Macellari V. Electrothrombosis of saccular aneurysms via endovascular approach. Part 1: Electrochemical basis, technique, and experimental results. *J Neurosurg* 1991; 75: 1–7.
14. Guglielmi G, Vinuela F, Dion J, Duckwiler G. Electrothrombosis of saccular aneurysms via endovascular approach. Part 2: Preliminary clinical experience. *J Neurosurg* 1991; 75: 8–14.
15. Richling B, Gruber A, Bavinszki G, Killer M. GDC system embolization for brain aneurysms – location and follow-up. *Acta Neurochir (Wien)* 1995; 134: 177–83.
16. Richling B, Bavinszki G, Gross C, Gruber A, Killer M. Early clinical outcome of patients with ruptured cerebral aneurysms treated by endovascular (GDC) or microsurgical techniques. A single center experience. *Int Neuroradiol* 1995; 1: 19–27.
17. Eskridge JM, Song JK. Endovascular embolization of 150 basilar tip aneurysms with Guglielmi detachable coils: results of the Food and Drug Administration multicenter clinical trial. *J Neurosurg* 1998; 89: 81–6.
18. Graves VB, Strother CM, Duff TA, Perl J II. Early treatment of ruptured aneurysms with Guglielmi detachable coils: effect on subsequent bleeding. *Neurosurgery* 1995; 37: 640–8.
19. Guglielmi G, Vinuela F, Duckwiler G, Dion J, Lylak P, Berenstein A, Strother C, Graves V, van Halbach V, Nichols D, Hopkins LN, Ferguson R, Sepetka I. Endovascular treatment of posterior circulation aneurysms by electrothrombosis using electrically detachable coils. *J Neurosurg* 1992; 77: 515–24.
20. Malisch TW, Guglielmi G, Vinuela F, Duckwiler G, Gobin P, Martin NA, Frazee JG. Intracranial aneurysms treated with Guglielmi detachable coil: midterm clinical results in a consecutive series of 100 patients. *J Neurosurg* 1997; 87: 176–83.
21. Bavinszki G, Richling B, Gruber A, Killer M, Levy D. Endosaccular occlusion of basilar artery bifurcation aneurysms using electrolytically detachable coils. *Acta Neurochir (Wien)* 1995; 134: 184–98.
22. McDougall, CG, Halbach VV, Dowd CF, Higashida RT, Larsen DW, Hieshima GB. Endovascular treatment of basilar tip aneurysms using electrolytically detachable coils. *J Neurosurg* 1996; 84: 393–9.
23. Nichols DA, Brown RD, Thielen KR, Meyer FB, Atkinson JL, Piepgras DG. Endovascular treatment of ruptured posterior circulation aneurysms using electrolytically detachable coils. *J Neurosurg* 1997; 87: 374–80.
24. Pierot L, Boulin A, Castaings L, Rey A, Moret J. Selective occlusion of basilar aneurysms using controlled detachable coils: report of 35 cases. *Neurosurgery* 1996; 38: 948–54.
25. Raymond J, Roy D, Bojanowski M, Mounmdjian R, L'Esperance G. Endovascular treatment of acutely ruptured and unruptured aneurysms of the basilar bifurcation. *J Neurosurg* 1997; 86: 211–9.
26. Raymond J, Roy D. Safety and efficacy of endovascular treatment of acutely ruptured aneurysms. *Neurosurgery* 1997; 41: 1235–46.
27. Vinuela F, Duckwiler G, Mawad M. Guglielmi detachable coil embolization of acute intracranial aneurysm: perioperative anatomical and clinical outcome in 403 patients. *J Neurosurg* 1997; 86: 475–82.
28. Gruber A, Killer M, Bavinszki G, Richling B. Clinical and angiographic results of endosaccular coiling treatment of giant and very large intracranial aneurysms: a 7-year, single center experience. *Neurosurgery* 1999; 45: 793–804.
29. Bavinszki G, Killer M, Gruber A, Reinprecht A, Gross CE, Richling B. Treatment of basilar bifurcation aneurysms using Guglielmi detachable coils: a 6 year experience. *J Neurosurg* 1999; 90: 843–52.
30. Pandey AS, Koebbe C, Rosenwasser RH, Veznedaroglu E. Endovascular coil embolization of ruptured and unruptured posterior circulation aneurysms: review of a 10-year experience. *Neurosurgery* 2007; 60: 626–36.
31. Debrun GM, Aletich VA, Kehrli P, Misra M, Ausman JJ, Charbel F. Selection of cerebral aneurysms for treatment using Guglielmi detachable coils: the preliminary University of Illinois at Chicago experience. *Neurosurgery* 1998; 43: 1281–95.
32. Richling B, Gruber A, Killer M, Bavinszki G. Treatment of ruptured saccular intracranial aneurysms by microsurgery and electrolytically detachable coils: evaluation of outcome and long-term follow-up. *Operative Techniques in Neurosurgery* 2000; 3: 282–99.
33. Richling B. History of endovascular surgery: personal accounts of the evolution. *Neurosurgery* 2006; 59: S3–S13.
34. Zubillaga AF, Guglielmi G, Vinuela F, Duckwiler GR. Endovascular occlusion of intracranial aneurysms with electrically detachable coils: correlation of aneurysm neck size and treatment results. *AJNR Am J Neuroradiol* 1994; 15: 815–20.
35. Bavinszki G, Talazoglu V, Killer M, Richling B, Gruber A, Gross CE, Plenck H. Gross and microscopic histopathological findings in aneurysms of the human brain treated with Guglielmi detachable coils. *J Neurosurg* 1999; 91: 284–93.
36. Kwan ESK, Heilman CB, Shucart WA, Kulcznik RP. Enlargement of basilar artery aneurysms following balloon occlusion – “water hammer effect”. Report of two cases. *J Neurosurg* 1991; 75: 963–8.
37. Manabe H, Fujita S, Hatayama T, Suzuki S, Yaghashi S. Rerupture of coil-embolized aneurysm during long-term observation. Case report. *J Neurosurg* 1998; 88: 1096–8.
38. Mericle RA, Wakhloo AK, Lopes DK, Lanzino G, Guterman LR, Hopkins LN. Delayed aneurysm regrowth and recanalization after Guglielmi detachable coil treatment. *J Neurosurg* 1998; 89: 142–5.
39. Gurian JH, Martin NA, King WA, Duckwiler GR, Guglielmi G, Vinuela F. Neurosurgical management of cerebral aneurysms following unsuccessful or incomplete endovascular embolization. *J Neurosurg* 1995; 83: 843–53.
40. Civit T, Auque J, Marchal JC, Bracad S, Picard L, Hepner H. Aneurysm clipping after endovascular treatment with coils: a report of eight patients. *Neurosurgery* 1996; 38: 955–61.
41. Drake CG, Vanderlinden RG. The late consequences of incomplete surgical treatment of cerebral aneurysms. *J Neurosurg* 1967; 27: 226–38.
42. Drake CG, Allcock JM. Postoperative angiography and the “slipped” clip. *J Neurosurg* 1973; 39: 683–9.
43. Drake CG, Friedman AH, Peerless SJ. Failed aneurysm surgery. Reoperation in 115 cases. *J Neurosurg* 1984; 61: 848–56.
44. Feuerberg I, Lindquist C, Lindquist M, Steiner L. Natural history of post-operative aneurysm rests. *J Neurosurg* 1987; 66: 30–4.
45. Lin T, Fox AJ, Drake CG. Regrowth of aneurysm sacs from residual necks following aneurysm clipping. *J Neurosurg* 1998; 70: 556–60.
46. Alexander TD, Macdonald RL, Weir B, Kowalczuk A. Intraoperative angiography in cerebral aneurysm surgery: a prospective study of 100 craniotomies. *Neurosurgery* 1996; 39: 10–8.
47. Bavinszki G, Talazoglu V, Killer M, Gruber A, Richling B, Al-Shameri R. Coiling of recurrent and residual cerebral aneurysms after unsuccessful clipping. *Minim Invas Neurosurg* 1999; 42: 22–6.
48. Taschner CA, Leclerc X, Rachdi H, Barros AM, Pruvo JP. Matrix detachable coils for the endovascular treatment of intracranial aneurysms: analysis of early angiographic and clinical outcomes. *Stroke* 2005; 36: 2176–80.
49. Murayama Y, Vinuela F, Ishii A, Nien YL, Yuki I, Duckwiler G, Jahan R. Initial clinical experience with matrix detachable coils for the treatment of intracranial aneurysms. *J Neurosurg* 2006; 105: 192–9.
50. Katsaridis V, Papagiannaki C, Violaris C. Guglielmi detachable coils versus matrix coils: a comparison of the immediate post-treatment result of the embolization on 364 aneurysms in 307 patients: a single-center, single-surgeon experience. *AJNR Am J Neuroradiol* 2006; 27: 1841–8.
51. Gaba RC, Ansari SA, Roy SS, Marden FA, Viana MA, Malisch TW. Embolization of intracranial aneurysms with hydrogel-coated coils versus inert platinum coils: effects on packing density, coil length and quality, procedure performance, cost, length of hospital stay, and durability of therapy. *Stroke* 2006; 37: 1443–50.
52. Berenstein A, Song JK, Niimi Y, Namba K, Heran NS, Brisman JL, Nahoum MC, Madrid M, Langer DJ, Kupersmith MJ. Treatment of cerebral aneurysms with hydrogel-coated platinum coils (HydroCoil): early single-center experience. *AJNR Am J Neuroradiol* 2006; 27: 1834–40.
53. Cloft HJ; HEAL Investigators. HydroCoil for Endovascular Aneurysm occlusion (HEAL) study: 3–6 month angiographic follow-up results. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007; 28: 152–4.
54. Cloft HJ. Hydrocoil for Endovascular Aneurysm occlusion (HEAL) study: periprocedural results. *AJNR Am J Neuroradiol* 2006; 27: 289–92.
55. Cekirge HS, Saatci I, Geyik S, Yavuz K, Ozturk H, Pamuk G. Intracranial combination of metallic coils and onyx liquid embolic agent for the endovascular treatment of cerebral aneurysms. *J Neurosurg* 2006; 105: 706–12.
56. Cekirge HS, Saatci I, Ozturk H, Cil B, Arat A, Mawad M, Ergungor F, Belen D, Er U, Turk S, Bavbek M, Sekerci Z, Beskonakli E, Ozcan OE, Ozgen T. Late angiographic and clinical follow-up results of 100 consecutive aneurysms treated with onyx reconstruction: largest single center experience. *Neuroradiology* 2006; 48: 113–26.
57. Molyneux AJ, Cekirge S, Saatci I, Gal G. Cerebral Aneurysm Multi-center European Onyx (CAMEO) trial: results of a prospective observa-

- tional study in 20 European centers. *AJNR Am J Neuroradiol* 2004; 25: 39–51.
58. Levy DI. Embolization of wide-necked anterior communicating artery aneurysm: technical note. *Neurosurgery* 1997; 41: 979–82.
 59. Moret J, Pierot L, Castaing L. "Remodelling" of the arterial wall of the parent vessel in the endovascular treatment of intracranial aneurysms. *Neuroradiology* 1994; 36: S83.
 60. Ross IB, Dhillon GS. Balloon assistance as a routine adjunct to the endovascular treatment of cerebral aneurysms. *Surg Neurol* 2006; 66: 593–601.
 61. Malek AM, Halbach VV, Phatouros CC, Lempert TE, Meyers PM, Dowd CF, Higashida RT. Balloon-assist technique for endovascular coil embolization of geometrically difficult intracranial aneurysms. *Neurosurgery* 2000; 46: 1397–406.
 62. Turk AS, Rappe AH, Villar F, Virmani R, Strother CM. Evaluation of the TriSpan neck bridge device for the treatment of wide-necked aneurysms: an experimental study in canines. *Stroke* 2001; 32: 492–7.
 63. Raymond J, Guilbert F, Roy D. Neck-bridge device for endovascular treatment of wide-neck bifurcation aneurysms: initial experience. *Radiology* 2001; 221: 318–26.
 64. Szikora I, Guterman LR, Wells KM, Hopkins LN. Combined use of stents and coils to treat experimental wide-necked carotid aneurysms: preliminary results. *AJNR Am J Neuroradiol* 1994; 15: 1091–102.
 65. Turjman F, Massoud TF, Ji C, Guglielmi G, Vinuela F, Robert J. Combined stent implantation and endosaccular coil placement for treatment of experimental wide-necked aneurysms: a feasibility study in swine. *AJNR Am J Neuroradiol* 1994; 15: 1087–90.
 66. Fiorella D, Albuquerque FC, Deshmukh VR, Woo HH, Rasmussen PA, Masaryk TJ, McDougall CG. Endovascular reconstruction with the Neuroform stent as monotherapy for the treatment of uncoilable intradural pseudoaneurysms. *Neurosurgery* 2006; 59: 291–300.
 67. Fiorella D, Albuquerque FC, McDougall CG. Preliminary experience using the Neuroform stent for the treatment of cerebral aneurysms. *Neurosurgery* 2004; 54: 6–16.
 68. Fiorella D, Albuquerque FC, Deshmukh VR, McDougall CG. Usefulness of the Neuroform stent for the treatment of cerebral aneurysms: results at initial (3–6 mo) follow-up. *Neurosurgery* 2005; 56: 1191–201.
 69. Benitez RP, Silva MT, Klem J, Veznedaroglu E, Rosenwasser RH. Endovascular occlusion of wide-necked aneurysms with a new intracranial microstent (Neuroform) and detachable coils. *Neurosurgery* 2004; 54: 1359–67.
 70. Saatci I, Cekirge HS, Ozturk MH, Arat A, Ergungor F, Sekerci Z, Senveli E, Er U, Turkoglu S, Ozcan OE, Ozgen T. Treatment of internal carotid artery aneurysms with a covered stent: Expertise in 24 patients with mid-term follow-up results. *AJNR Am J Neuroradiol* 2004; 25: 1742–9.
 71. Fiorella D, Albuquerque FC, Woo H, Rasmussen PA, Masaryk TJ, McDougall CG. Neuroform in-stent stenosis: incidence, natural history, and treatment strategies. *Neurosurgery* 2006; 59: 34–42.
 72. Fiorella D, Albuquerque FC, Deshmukh VR, McDougall CG. In-stent stenosis as a delayed complication of neuroform stent-supported coil embolization of an incidental carotid terminus aneurysm. *AJNR Am J Neuroradiol* 2004; 25: 1764–7.
 73. Weir RU, Marcellus ML, Do HM, Steinberg GK, Marks MP. Aneurysmal subarachnoid hemorrhage in patients with Hunt and Hess grade 4 and 5: treatment using the Guglielmi detachable coil system. *AJNR Am J Neuroradiol* 2003; 24: 585–90.
 74. Cai Y, Spelle L, Wang H, Piotin M, Mounayer C, Vanzin JR, Moret J. Endovascular treatment of intracranial aneurysms in the elderly: single center experience in 63 consecutive patients. *Neurosurgery* 2005; 57: 1096–102.
 75. Kassell NF, Helm G, Simmons N, Phillips CD, Cail WS. Treatment of cerebral vasospasm with intra-arterial papaverin. *J Neurosurg* 1992; 77: 848–52.
 76. Higashida RT, Halbach V, Cahan LD. Transluminal angioplasty for treatment of intracranial arterial vasospasm. *J Neurosurg* 1989; 71: 648–53.
 77. Serbinenko FA. Balloon catheterization and occlusion of major cerebral vessels. *J Neurosurg* 1974; 41: 125–45.
 78. Romodanov AP, Shcheglov VI. Intravascular occlusion of saccular aneurysms of the cerebral arteries by means of a detachable balloon catheter. *Adv Tech Stand Neurosurg* 1982; 2: 25–49.
 79. Fox AJ, Vinuela F, Pelz DM, Ferguson GG, Drake CG, Debrun G. Use of detachable balloons for proximal artery occlusion in the treatment of unclippable cerebral aneurysms. *J Neurosurg* 1987; 66: 40–6.
 80. Larson JJ, Tew J Jr, Tomsick TA, van Loveren HR. Treatment of aneurysms of the internal carotid artery by intravascular balloon occlusion: long-term follow up of 58 patients. *Neurosurgery* 1995; 36: 23–30.
 81. Mathis JM. Temporary balloon test occlusion of the internal carotid artery: experience in 500 cases. *AJNR Am J Neuroradiol* 1995; 16: 749–54.
 82. EC/IC Bypass Study Group. Failure of extracranial intracranial arterial bypass to reduce the risk of ischemic stroke. Results of an international randomized trial. *New Engl J Med* 1985; 313: 1191–200.
 83. Gelber B, Sundt TM. Treatment of intracavernous and giant carotid aneurysms by combined internal carotid ligation and extra- to intracranial bypass. *J Neurosurg* 1980; 52: 1–10.
 84. Hopkins LN, Grand W. Extracranial-intracranial arterial bypass in the treatment of aneurysms of the carotid and middle cerebral arteries. *Neurosurgery* 1979; 5: 21–30.
 85. Lawton MT, Hamilton MG, Morcos JJ, Spetzler RF. Revascularization and aneurysm surgery: current techniques, indications, and outcome. *Neurosurgery* 1996; 38: 83–94.
 86. Spetzler RF, Schuster H, Roski RA. Elective extracranial-intracranial arterial bypass in the treatment of inoperable giant aneurysms of the internal carotid artery. *J Neurosurg* 1980; 53: 22–7.
 87. Weill A, Cognard C, Levy DI, Robert G, Moret J. Giant aneurysms of the middle cerebral artery trifurcation treated with extracranial-intracranial arterial bypass and endovascular occlusion. Report of two cases. *J Neurosurg* 1998; 98: 474–8.
 88. Hachein-Bey L, Connolly ES Jr, Mayer SA, Young WL, Pile-Spellman J, Solomon RA. Complex intracranial aneurysms: combined operative and endovascular approaches. *Neurosurgery* 1998; 43: 1304–12.
 89. Martin NA, Kureshi I, Coitero D. Bypass techniques for the treatment of intracranial aneurysms. *Operative Techniques in Neurosurgery* 2000; 3: 255–70.
 90. Lawton MT, Quinones-Hinojosa A, Sanai N, Malek JY, Dowd CF. Combined microsurgical and endovascular management of complex intracranial aneurysms. *Neurosurgery* 2003; 52: 263–74.
 91. Hoh BL, Putman CM, Budzik RF, Carter BS, Ogilvy CS. Combined surgical and endovascular techniques of flow alteration to treat fusiform and complex wide-necked intracranial aneurysms that are unsuitable for clipping or coil embolization. *J Neurosurg* 2001; 95: 24–35.
 92. Redekop G, TerBrugge K, Willinsky R. Subarachnoid hemorrhage from vertebrobasilar dissecting aneurysm treated with staged bilateral vertebral artery occlusion: the importance of early follow-up angiography: technical case report. *Neurosurgery* 1999; 45: 1258–63.
 93. Drake CG, Peerless SJ, Ferguson GG. Hunterian proximal arterial occlusion for giant aneurysms of the carotid circulation. *J Neurosurg* 1994; 81: 656–65.
 94. Killer M, Bavinszki G, Gruber A, Richling B. Giant or fusiform cerebral aneurysms: a new endovascular technique for parent vessel occlusion. Presented at the International Congress on Minimally Invasive Neurosurgery, Paris, France, May 1997.
 95. Selverstone B, White JC. A method for gradual occlusion of the internal carotid artery in the treatment of aneurysms. *Proc N Engl Cardiovasc Soc* 1952; 9: 24.
 96. Locksley HB. Report on the Co-operative Study of Intracranial Aneurysms and Subarachnoid Haemorrhage. Section V, Part 1: natural history of subarachnoid haemorrhage, intracranial aneurysms and arteriovenous malformations based on 6368 cases in the co-operative study. *J Neurosurg* 1966; 28: 219–39.

Die entsprechenden Filme der Abbildungen 3–5 und 7 finden Sie unter www.kup.at/A6546 oder mittels Eingabe von A6546 in ein Suchfeld auf www.kup.at.



A.o. Univ.-Prof. Dr. med. Andreas Gruber

Geboren 1968, Medizinstudium in Wien, Ausbildung zum Facharzt für Neurochirurgie an der Univ.-Klinik für Neurochirurgie Wien. Ausbildung in endovaskulärer Neurochirurgie und neurochirurgischer Intensivmedizin. Notarzt. Venia docendi 2001, a.o. Univ.-Prof. 2002. Leitender Oberarzt der Intensivstation der Univ.-Klinik für Neurochirurgie. Schwerpunkte der klinischen und wissenschaftlichen Tätigkeit in den Bereichen vaskuläre und endovaskuläre Neurochirurgie sowie neurochirurgische Intensivmedizin.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

☒ [Bilddatenbank](#)

☒ [Artikeldatenbank](#)

☒ [Fallberichte](#)

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ [Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)