

Mechanische Revaskularisation beim Schlaganfall

Qual oder Wahl

Die mechanische Rekanalisation eines akuten Verschlusses eines Hirngefäßes avancierte in den letzten Jahren bei einem bestimmten, speziell selektionierten Patientenklientel zur Therapie der Wahl. Stellenweise exzellente Behandlungsergebnisse untermauerten die Indikation zur mechanischen Wiedereröffnung verschlossener Hirngefäße.

„Qual der Wahl“

Die Qual liegt derzeit darin, dass eine Vielzahl mechanischer Systeme zur Auswahl stehen und der Druck vonseiten der klinischen Kollegen groß ist, gute Ergebnisse zu erzielen, da bis heute randomisierte Studien, die die Effizienz der Behandlung beweisen, fehlen. In dieser Arbeit werden die einzelnen Systeme unter Berücksichtigung ihrer Effizienz dargestellt. Einzelne neuere Studien zeigen überwiegend gute Ergebnisse bei der Behandlung schwerer Schlaganfälle, bei denen insbesondere die etablierte und weit verbreitete systemische Lysebehandlung versagt [11, 16]. Ausschlaggebend sind die richtige Auswahl der Patienten und folgerichtig die Zuordnung in die richtige Behandlungsgruppe, also konservativ, invasiv mittels IVT (intravenöse Lysebehandlung) oder LIF (lokale intraarterielle Fibrinolyse). Es ist ein Trugschluss zu glauben, dass mit der Rekanalisation, die statistisch gesehen für den klinischen Erfolg entscheidend ist [12, 15, 20], der Therapieerfolg automatisch gegeben ist. Die neuen mechanischen Systeme

erlauben eine Rekanalisation in bis zu 90% der Fälle und zeigen trotzdem nicht immer die erhofften klinischen Resultate. Es bleiben die Qual und Wahl der richtigen Indikation als auch der richtigen Behandlungsform.

Endovaskuläre Schlaganfallbehandlung – Rückblick

In Aachen wurde 1979 die erste intraarterielle Lysebehandlung bei einem kurzstreckigen Basilarisverschluss erfolgreich durchgeführt [21]. Seit mehr als 10 Jahren ist die lokale intraarterielle Fibrinolyse (LIF) ein anerkanntes und etabliertes Verfahren zur Behandlung proximaler Hirngefäßverschlüsse. Wegweisend hierfür war Ende der 90er Jahre die PRO-ACT-II-Studie, bei der die intraarterielle Thrombolyse mit Prourokinase innerhalb von 6 h sich als sicher und effektiv herausstellte und zu einer signifikant höheren Rate funktionell unabhängiger Patienten führte, insbesondere bei initial schwerer Schlaganfallsymptomatik und proximalem Gefäßverschluss [6]. In der PRO-ACT-II-Studie war der klinische Outcome nach 90 Tagen mit mRs 0–2 („modified Rankin scale“ 0–2, kein oder geringes neurologisches Defizit) bei Mediahauptstammverschluss in der mit Prourokinase behandelten Gruppe mit 40% bei einer Rekanalisationsrate von 67% deutlich besser als mit 25% in der mit Heparin allein behandelten Gruppe.

Es folgten so genannte Bridgingbehandlungen, wobei nach Ausschluss einer

Blutung in der zerebralen Schnittbildgebung innerhalb von zunächst 3 h und seit der ECASS-III-Studie innerhalb von 4,5 h unmittelbar mit einer systemischen Behandlung begonnen wurde, um dann bei fehlender klinischer Besserung die Therapie endovaskulär fortzusetzen. Neben der Kombination aus intravenös und intraarteriell appliziertem rt-PA (rekombinanter Gewebefibrinolyseaktivator) wird auch eine Kombination aus intravenös appliziertem GPIIa/IIIb-Hemmer und intraarteriellem rt-PA eingesetzt [4, 5].

Die endovaskulären Behandlungen beim akuten Schlaganfall sind bis 2008 nur in wenigen Kliniken in Deutschland mit hohen Fallzahlen verbunden gewesen. In **Abb. 1** werden die Fallzahlen am Universitätsklinikum Freiburg von 1997 bis 2007 und am Klinikum Augsburg von 2008 bis 2012 dargestellt. Dies zeigt, dass an 2 unterschiedlichen Standorten sich jeweils die endovaskuläre Therapie erst durchsetzen musste. Die Etablierung ist eng verbunden mit der lokalen und überregionalen Infrastruktur, erfolgreichen Behandlungen sowie einem engen, vertrauensvollen und interdisziplinären Zusammenarbeiten von Neuroradiologen oder Radiologen und Neurologen. Ausschlaggebend für die niedrigen Behandlungszahlen war und ist der Tatsache geschuldet, dass rt-PA aufgrund der Ergebnisse der NINDS-Studie 1995 bis heute als Standardtherapie gilt.

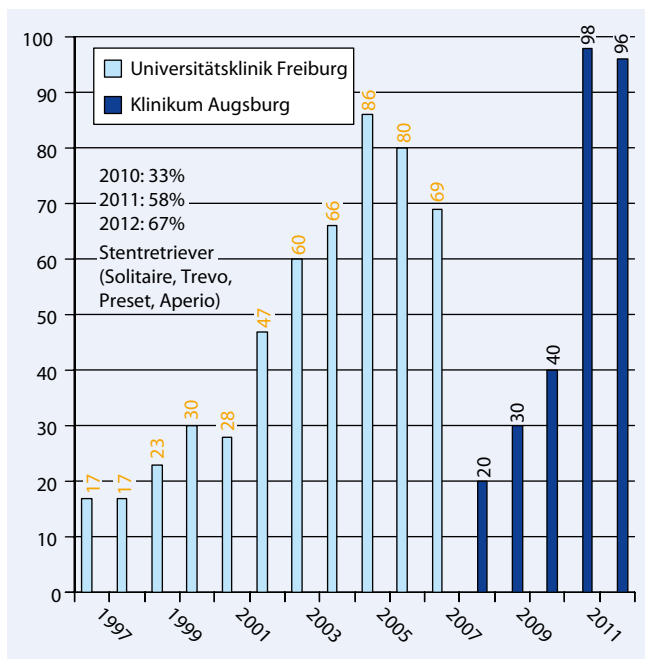


Abb. 1 ◀ Anzahl der endovaskuläre Behandlungen bei Patienten mit akutem Schlaganfall von 1997–2012

Etablierung der endovaskulären Behandlung

Die Limitationen von rt-PA werden durch das relativ enge zeitliche Fenster von 4,5 h, durch die Verschlusslokalisation und nicht zuletzt durch die Thrombuslast offenbar. Die Akzeptanz der endovaskulären Therapie wurde durch die von Mattle et al. [11] in *Stroke* 2008 publizierte Vergleichsarbeit von IVT und LIF bei Mediahauptstammverschlüssen untermauert. In dieser Arbeit konnte ein eindeutiger Vorteil der LIF mit Urokinase gegenüber der IVT bei einem vergleichbaren Patientenkollekt mit Mediahauptstammverschluss, der bildgebend durch ein „dichtes Mediazeichen“ nachgewiesen wurde, herausgearbeitet werden. Ein guter klinischer Verlauf mit mRs ≤ 2 zeigt sich bei nahezu 30% mehr Patienten mit LIF als bei IVT. Hinzu kommt, dass bei einer Thrombuslänge von 7–8 mm im Mediahauptstamm keine Rekanalisation durch IVT zu erwarten ist [16], sodass bei entsprechender Thrombuslast folgerichtig die intraarterielle Behandlung angestrebt werden sollte.

Die intraarterielle Rekanalisation wird in den kommenden Jahren nicht zuletzt auch aufgrund der demographischen Entwicklung immer häufiger angewendet werden. Nach einer Umfrage der Deutschen Gesellschaft für Neuroradiologie werden aktuell ca. 85% der Fläche der

Bundesrepublik durch Zentren mit einem Einzugsbereich von 60 km abgedeckt. Die Therapie ist prozedural nicht allzu kompliziert und kann relativ rasch erlernt werden. Um die Qualität zu sichern, ist aber unbedingt erforderlich, dass dies ein Routineeingriff ist, der eine bestimmte Fallzahl pro Jahr voraussetzt. Die Gefahren sind vielfältig und reichen von falscher Indikationsstellung zur Behandlung und damit verbundenem schlechtem Outcome bis zum fehlenden Beherrschen des Komplikationsmanagements bei Eingriffen an den Hirngefäßen. Konsequenterweise sollten Patienten mit schwerem Schlaganfall aus einem Haus ohne Expertise entsprechend der 2010 in *Stroke* publizierte Arbeit von Pfefferkorn et al. [14] in ein neurovaskuläres Zentrum verbracht werden.

Qual oder Wahl – Schlaganfälle kommen immer zu Unzeiten

Es ist nicht nur gefühlt so, dass Schlaganfallpatienten sich selten an die Regelarbeitszeiten halten. In Augsburg wurden im Jahr 2012 akute ischämische Schlaganfälle in 58% der Fälle außerhalb der regulären Dienstzeiten endovaskulär behandelt. Dies erfordert ein schlagkräftiges Team über 24 h und an 7 Tagen in der Woche. Diese Infrastruktur schließt Ärzte, MTRA und Pflegekräfte aus den ver-

schiedenen Fachdisziplinen wie Anästhesie, Neuroradiologie und Neurologie mit ein und muss, um eine zeitnahe Behandlung im Sinne von „time is brain“ zu gewährleisten, von einer Klinik mit einem neurovaskulären Anspruch gestellt werden. In großen Stroke Units werden heutzutage in Europa Thrombolyseraten zwischen 15 und 25% erreicht. In Augsburg wurden von in den letzten beiden Jahren 1500–1700 stationär behandelten Schlaganfallpatienten etwa 18% der Patienten behandelt, davon 1/3 endovaskulär und 2/3 systemisch. Nicht vergessen sollte man, dass man für die verbleibenden 80% ebenfalls eine adäquate Diagnostik anbieten muss, die ebenfalls radiologisches Personal und Gerätschaften wie CT oder MR bindet.

Mechanische Rekanalisation – Rückblick

Seit Ende der 90er Jahre werden mechanische Systeme zur Verbesserung der Rekanalisationsergebnisse eingesetzt. Die Limitationen der lokalen Lyse liegen in der Zeit bis zum Erreichen der Rekanalisation mit durchschnittlich 1,5 h und in der Rate erfolgreicher Rekanalisationen mit durchschnittlich 63% [4, 5, 12, 15]. Es wurden verschiedene Systeme mit unterschiedlichen Ansätzen getestet. Aufgrund der unterschiedlichen Wirkmechanismen kann man diese in proximale und distale Systeme einteilen. Bei den distalen Systemen wird zunächst der Thrombus passiert und dieser dann von distal nach proximal behandelt. Hauptvertreter hierbei sind die Stentretreiver, die distal des Thrombus beginnend geöffnet werden und den Thrombus nach proximal überbrücken. Dieser Bypass ermöglicht eine zumindest vorübergehende Reperfusion, bis je nach Konsistenz des Thrombus dieser die Stentstreben durchwandert und das Gefäß erneut verschließt. Bei den proximalen Systemen wird das Blutgerinnsel von proximal kommend entfernt. Vertreter dieser Systeme sind Absaugen mit dem Penumbra-System, der Einsatz einer Greifzange (Alligator Device, Chestnut Medical Technologies, Menlo Park, CA, USA) oder dem endovasalen Ultraschallverfahren (EKOS, MikroLysUS Infusen Cathete,

ter, EKOS Corporation, Bothwell, WA, USA).

Eine andere Einteilung bezieht sich auf die Systeme, wobei man wie in **Tab. 1** Draht-, Aspirations-, Zertrümmerungssysteme und PTA sowie Stentsysteme unterscheiden kann. Die Wirkungsweise bei Thrombuszertrümmerung durch Mikrodrahtmanipulation oder durch das EKOS-System liegt in einer Oberflächenvergrößerung des Blutgerinnsels, damit sowohl intrinsische als auch exogen zugeführte Fibrinolytika besser wirken.

Die unterschiedlichen Behandlungsoptionen münden in ein multimodales Behandlungskonzept, das unterschiedliche Applikationen von Fibrinolytika und unterschiedliche mechanische Rekanalisationsverfahren von Saugen, Stentrievern bis PTA und Stenting [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 17, 18, 19, 20] umfasst. Vorteil der mechanischen Verfahren ist, dass diese am effektivsten in Bezug auf Rekanalisation [15] sind und zudem auch bei Patienten mit Kontraindikationen für Fibrinolytika eingesetzt werden können. Gemeinsam ist diesen Systemen, dass sie eine hohe Effizienz zur Rekanalisation aufweisen, die von 55–90% reicht.

Mechanische Rekanalisation – Update und Qual der Wahl

Die mechanische Rekanalisation hat in ihren Anfängen nicht die gewünschten klinischen Ergebnisse geliefert. Trotzdem haben 2004 das Merci- und 2008 das Penumbra-System die FDA-Zulassung erhalten. Lagen in der initialen Penumbra-Studie die Rekanalisationsraten noch bei 100%, konnte in der folgenden Studie bei Verwendung dieses „Absaugkatheters“ bei 125 Patienten immer noch eine Rekanalisationsrate von 82% erreicht werden [2]. Diese exzellenten Daten wurden vom klinischen Verlauf mit nur 25% mit einem mRS von ≤ 2 und einer Letalität von 33% nach 90 Tagen erheblich getrübt. In der aktuell laufenden randomisierten THE-RAPID-Studie wird das Penumbra-System nochmals überprüft und die Indikation zur Behandlung kritischer gestellt.

Im Jahr 2006 wurden die ersten Behandlungen mit Stents oder Stents und PTA beim akuten Schlaganfall veröffentlicht. In einer Multicenteranalyse

A. Berlis

Mechanische Revaskularisation beim Schlaganfall. Qual oder Wahl

Zusammenfassung

Klinisches/methodisches Problem. Der akute ischämische Schlaganfall ist die dritthäufigste Todesursache und der häufigste Grund für eine Behinderung. Aufgrund der demographischen Entwicklung ist zukünftig mit einem Fallzahlenanstieg zu rechnen.

Radiologische Standardverfahren. Die Auswahl der zu behandelnden Patienten erfolgt mittels unterschiedlicher diagnostischer CT- und MR-Modalitäten. Die Behandlung erfolgt in der Regel in einer biplanen Angiographieanlage

Methodische Innovationen. Die intraarterielle lokale Fibrinolyse (LIF) hat sich als im Hinblick auf Rekanalisation und klinischem Verlauf als effektiv herausgestellt. Mechanische Systeme werden seit Ende der 90er Jahre eingesetzt. Die erst seit wenigen Jahren zum Einsatz kommenden Stentretreiver haben sich als hoch effektiv herausgestellt.

Leistungsfähigkeit. Mit mechanischen Verfahren können in bis zu 90% der Hirngefäße wiedereröffnet werden.

Bewertung. Die Stentretreiver haben bislang gegenüber den bisherigen mechanischen Verfahren zu besseren klinischen Verläufen geführt.

Empfehlung für die Praxis. Stentretreiving ist die Methode der ersten Wahl bei der Wahl mechanischer Verfahren zur intraarteriellen Rekanalisationsbehandlung beim akuten Schlaganfall.

Schlüsselwörter

Biplane Angiographieanlage · Endovaskuläre Behandlung · Mechanische Systeme · Systemische Lysebehandlung · Stentretreiving

Mechanical recanalization in acute stroke. Torture or choice

Abstract

Clinical/methodical issue. Stroke is the third most common cause of death in the developed world and the leading cause of disability worldwide. The present demographic development will lead to increased numbers of stroke patients in the future.

Standard radiological methods. Patient selection takes place by using various computer tomographic (CT) or magnetic resonance (MR) imaging modalities. For endovascular stroke treatment a modern biplane angiography suite is recommended.

Methodical innovations. Intra-arterial chemical thrombolysis was shown to be effective in achieving recanalization and improving clinical outcome. Mechanical devices were introduced in the late 1990s and the highly effective stent retriever was recently included.

Performance. Mechanical devices allow a recanalization rate of up to 90% of affected brain vessels.

Achievements. The advantage of a stent retriever compared to other mechanical devices seems to be an improvement in good clinical outcome.

Practical recommendations. Currently, the stent retriever seems to be the definitive first choice in the use of mechanical devices for intra-arterial recanalization treatment in acute ischemic stroke.

Keywords

Biplane angiography suite · Endovascular treatment · Mechanical systems · Systemic lysis treatment · Stent retriever

mit 1122 Patienten konnten die Effektivität und hohe Rekanalisationsraten nachgewiesen werden [8]. Die Nachteile liegen in der Notwendigkeit einer doppelten Thrombozytenaggregationshemmung, die bei wieder entfernbaren selbstexpandierbaren Stents, so genannten Stentretreivern, nicht notwendig ist.

Aktuell werden nahezu 10 verschiedene Stentretreiver von verschiedenen Fir-

men angeboten, wobei aktuell Systeme wie Solitaire der Firma ev3-covidien und Trevo der Firma Stryker international am häufigsten eingesetzt werden. Dies spiegelt sich auch in der Zulassung durch die FDA und CE-Markierung sowie den in PubMed gelisteten 49 Publikationen für Solitaire und 24 für Trevo wider. Bestimmend für den aktuell dominierenden Einsatz von Stentretreivern waren die zuletzt

Tab. 1 Unterschiedliche mechanische Systeme zur Rekanalisationsbehandlung, die seit 1999 eingesetzt werden

	System	Funktion	Einteilung	Indikation/Anmerkungen
Drahtsysteme	Gewöhnlicher Mikrodraht	Thrombusfraktionierung, Oberflächenvergrößerung für medikamentöse Behandlung	Proximal	Sondieren intrakranieller Gefäße durch einen Mikrokatheter
	Drahtschlinge „Snare“ (Firma Covidien/ev3, Dublin, Ireland)	Bergen oder Fraktionierung von Blutgerinnseln	Proximal	Bergen von Fremdkörpern, z. B. Platinspiralen
	Körbchen, z. B. Catch (Fa. Balt, Frankreich)	Bergen von Blutgerinnseln	Distal	Bergen von Fremdkörpern
	MERCI-System (Fa. Stryker Neurovascular, Mountain View, CA, USA)	Bergen von Blutgerinnseln Korkenzieherähnliche Drahtkonfiguration	Distal	Bergen von Blutgerinnseln
Thrombusaspiration	Proboscis OTW-Mikrokatheter (Fa. Medical Braiding)	Absaugen	Proximal	Mikrokatheter
	Penumbra (Fa. Penumbra)	Absaugen mittels Pumpe und Thrombusentfernung	Proximal	Sicherheitsstudie 10/2005- 02/2006 (20 Patienten), Folgestudie mit 125 Patienten ab 05/2006
	X-Sizer (Fa. ev3)	Rotationssystem zum Absaugen	Proximal	Studie nach 2 Patienten eingestellt
	Angiojet (Fa. Possis)	Absaugen durch gepulste Hochdruckwasserpumpe	Proximal	Machbarkeitsstudie
Thrombuszertrümmerung	EKOS (Fa. EKOS Corporation, Bothwell, WA, USA)	Endovaskuläre Ultraschallanwendung mit Thrombuszertrümmerung und rt-PA-Gabe	Proximal	Machbarkeitsstudie, Anwendung im Rahmen IMS-II- und -III-Studie (EKOS + Bridging)
	LATIS (Fa. Latis, CA, USA)	Direkter Laserbeschluss des Blutgerinnsels	Proximal	Sicherheitsstudie, eingestellt
	EPAR (Fa. Endovaxis, CA, USA)	Laserinduzierte Zertrümmerung innerhalb der Katheterspitze	Distal	Sicherheits- und Machbarkeitsstudie, eingestellt
Stent-retriever	Unter anderen Solitaire (Firma Covidien/ev3), Trevo (Firma Stryker), Aperio (Firma Acandis, Deutschland) oder Preset (Firma Phenox, Deutschland)	Zurückziehbare selbstexpandierbare Stents	Distal	Aktuell die wahrscheinlich am häufigsten eingesetzten Systeme zur mechanischen Rekanalisationsbehandlung
PTA und Stent	Ballons und Stents	Rekanalisation bei arteriosklerotischer Stenose bzw. Verschluss mit Thrombusverlagerung in die Gefäßwand	Distal	Ballonexpandierbarer Stent (Pharos, Fa. Micrus), selbstexpandierbarer Stent (Wingspan, Firma Stryker) für Hirngefäßstenosen zugelassen, PTA-Ballons für Stenosen (Zulassung z. B. für Gatewayballon für Hirngefäßstenosen)

Die Tabelle erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Es werden bei den einzelnen Systemen einzelne Produkte inklusive der jeweiligen vertreibenden Firma genannt.

publizierten Vergleichsarbeiten, die die Stentretreiver Trevo und Solitaire mit dem Merci-System verglichen haben [13, 19]. Beim Vergleich Merci mit Trevo waren die Trevo-Ergebnisse deutlich besser mit 68% mit TICI-2b- und -3-Rekanalisation und 40% gutem Outcome nach 90 Tagen mit mRs 0–2 gegenüber dem Merci-System mit 44 und 21,8%. Diese Ergebnisse wurden in der SWIFT-Vergleichsstudie zwischen Solitaire und Merci mit gutem klinischem Outcome nach 90 Tagen mit 58 vs. 33% bestätigt. In **Abb. 2** wird ein klinisches Beispiel vorgestellt.

Die Ergebnisse für das Merci- als auch das Penumbra-System sind ernüchternd und sprechen nicht für eine erfolgversprechende zukunftsweisende Methode. Dies wird auch durch die im April 2012 publik gewordene Mitteilung, dass in den USA

die IMS-III-Studie abgebrochen wurde, bestärkt [9]. In dieser Studie erfolgte eine Bridgingbehandlung mit Verwendung mechanischer Systeme, wobei der endovaskuläre Arm schlechter als die IVT abschnitt. Die Ursache liegt möglicherweise darin begründet, dass als mechanische Systeme EKOS, Penumbra, v. a. Merci und nur wenige Solitaire verwendet wurden.

Es bleibt abzuwarten, wie weitere und v. a. randomisierte Studien mit Stentretreivern die zukünftigen Behandlungsstrategien bestimmen werden. Die jüngsten Ergebnisse und die zunehmenden Erfahrungen der Anwender lassen positives erwarten.

Fazit für die Praxis

- Die mechanischen Systeme zur endovaskulären Rekanalisationsbehandlung sind hocheffektiv bzgl. der Rekanalisationsrate und scheinen auch mit deutlich besseren klinischen Verläufen einherzugehen.
- Mit Stentretreivern können aktuell und im Vergleich mit bisherigen Systemen die besten Ergebnisse erzielt werden.
- Nicht zu vergessen bleibt, dass das Wichtigste die richtige Therapieentscheidung ist, die durch die bildgebende Diagnostik maßgeblich beeinflusst wird.

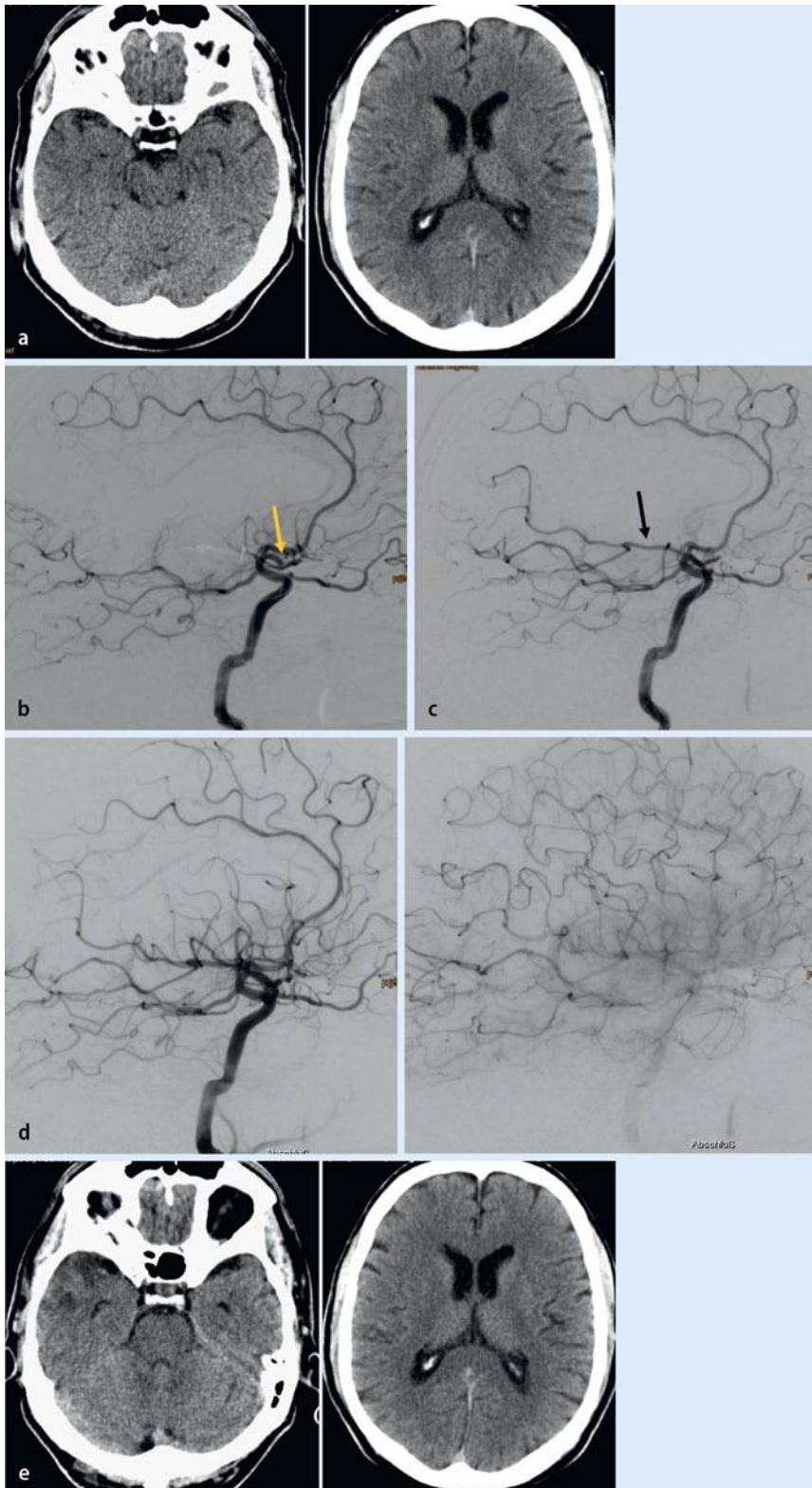


Abb. 2 ▲ 66 Jahre alter Patient mit Hemiplegie links bei distalem Mediahauptstammverschluss rechts (a). Unmittelbar nach dem CT erfolgt der Beginn der Therapie mit 50 mg rt-PA i.v., gefolgt von 20 mg rt-PA i.a. bei relativ kurzem Verschluss (b). Bei fehlender Rekanalisation Entscheidung für den Einsatz eines Stentretreivers (Solitaire FR 4×20, Fa. Covidien/ev3, USA, c). Nach einmaligem Retrieving Rekanalisationsergebnis entsprechend TICI 2b (d). Im postoperativen CT lediglich kleiner umschriebener Infarkt temporopolar rechts

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. A. Berlis

Klinik für Diagnostische Radiologie und Neuro-radiologie, Klinikum Augsburg, Stenglinstr. 2, 86156 Augsburg
Ansgar.berlis@klinikum-augsburg.de

Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehungen hin: Proctor- und Beratervertrag mit der Firma ev3/Covidien.

Literatur

- Berlis A, Lutsep H, Barnwell S et al (2004) Mechanical thrombolysis in acute ischemic stroke with EPAR (Endovascular Photoacoustic Recanalization). *Stroke* 35:1112–1116
- Bose A, Alfke K, Henkes H et al (2008) The penumbra system: a mechanical device for the treatment of acute stroke due to thromboembolism. *AJNR Am J Neuroradiol* 29:1409–1413
- Dorn F, Stehle S, Lockau H et al (2012) Endovascular treatment of intracerebral artery occlusions with the solitaire stent: single-centre experience with 108 recanalization procedures. *Cerebrovasc Dis* 34:70–77
- Eckert B (2009) Acute stroke therapy 1981-2009. *Clin Neuroradiol* 1:8–19
- Eckert B, Koch B, Thomalla G et al (2005) Aggressive therapy with intravenous abciximab and intra-arterial rt-PA and additional PTA/stenting improves clinical outcome in acute vertebrobasilar occlusion: combined local fibrinolysis and intravenous abciximab in acute vertebrobasilar stroke treatment (FAST): results of a multicenter study. *Stroke* 36:1160–1165
- Furlan A, Higashida R, Wechsler L et al (1999) Intra-arterial prourokinase for acute ischemic stroke: the PROACT II study: a randomised controlled trial. *JAMA* 282:2003–2011
- Galimanis A, Jung S, Mono M-L et al (2012) Endovascular therapy of 623 patients with anterior circulation stroke. *Stroke* 43:1052–1057
- Gupta R, Tayal AH, Levy EI et al (2011) Intra-arterial thrombolysis or stent placement during endovascular treatment for acute ischemic stroke leads to the highest recanalization rate: results of a multicenter retrospective study. *Neurosurgery* 68:1618–1623
- Interventional Management of Stroke (IMS) III Trial (IMSIII). This study is ongoing, but not recruiting participants. *ClinicalTrials.gov Identifier: NCT00359424*; First received: July 31, 2006; Last updated: April 27, 2012
- Koh JS, Lee SJ, Ryu CW, Kim SH (2012) Safety and efficacy of mechanical thrombectomy with solitaire stent retrieval for acute ischemic stroke: a systematic review. *Neurointervention* 7:1–9
- Mattle HP, Arnold M, Georgiadis D et al (2008) Comparison of intra-arterial and intravenous thrombolysis for ischemic stroke with hyperdense middle cerebral artery sign (HMCAS). *Stroke* 39:379–383

12. Mazighi M, Serfaty JM, Labreuche J (2009) Comparison of intravenous alteplase with a combined intravenous-endovascular approach in patients with stroke and confirmed arterial occlusion (RECANALISE study): a prospective cohort study. *Lancet Neurol* 8:802–809
13. Nogueira RG, Lutsep HL, Gupta R et al (2012) Trevo versus merci retrievers for thrombectomy revascularisation of large vessel occlusions in acute ischaemic stroke (TREVO 2): a randomised trial. *Lancet* 380:1231–1240
14. Pfefferkorn T, Holtmannspötter M, Schmidt C et al (2010) Drip, ship, and retrieve: cooperative recanalization therapy in acute basilar artery occlusion. *Stroke* 41:722–726
15. Rha J-H, Saver JL (2007) The impact of recanalization on ischemic stroke outcome: a meta-analysis. *Stroke* 38:967–973
16. Riedel CH, Jensen U, Rohr A et al (2010) Assessment of thrombus in acute middle cerebral artery occlusion using thin-slice nonenhanced computed tomography reconstructions. *Stroke* 41:1659–1664
17. San Roman L, Obach V, Blasco J et al (2012) Single-center experience of cerebral artery thrombectomy using the TREVO device in 60 patients with acute ischemic stroke. *Stroke* 43:1657–1659
18. Smith WS, Sung G, Saver J et al (2008) Mechanical thrombectomy for acute ischemic stroke: final results of the Multi MERCI trial. *Stroke* 39:1205–1212
19. Saver JL, Jahan R, Levy EI et al (2012) Solitaire flow retraction device versus the merci retriever in patients with acute ischaemic stroke (SWIFT): a randomised, parallel-group, non-inferiority trial. *Lancet* 380:1241–1249
20. Taschner CA, Treier M, Schumacher M et al (2011) Mechanical thrombectomy with the penumbra recanalization device in acute ischemic stroke. *J Neuroradiol* 38:47–52
21. Zeumer H, Hacke W, Kolmann HL, Poeck K (1982) Lokale Fibrinolysetherapie bei Basilaristhrombose. *Dtsch Med Wochenschr* 107:728–731