

Gefäßchirurgie 2019 · 24:413–421

<https://doi.org/10.1007/s00772-019-0552-7>

Online publiziert: 25. Juli 2019

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

M. S. Bischoff¹ · A. Gombert² · A. Brcic³ · S. Jungi^{1,4} · K. von Aspern⁵ · M. Wortmann¹ · K. Meisenbacher¹ · D. Böckler¹¹ Klinik für Gefäßchirurgie und Endovaskuläre Chirurgie, Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg, Deutschland² Europäisches Gefäßzentrum Aachen-Maastricht, Universitätsklinikum, RWTH Aachen, Aachen, Deutschland³ Anästhesiologische Klinik, Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg, Deutschland⁴ Universitätsklinik für Herz- und Gefäßchirurgie, Inselspital, Universitätsspital, Universität Bern, Bern, Schweiz⁵ Klinik für Herzchirurgie, Universitätsklinikum Leipzig, Leipzig, Deutschland

Intraoperatives Monitoring in der konventionellen und endovaskulären Aorten Chirurgie – Etablierte Verfahren

Einleitung

Die Komplexität aortenchirurgischer Eingriffe setzt zu ihrer erfolgreichen Umsetzung engmaschige perioperative Überwachungsmaßnahmen der menschlichen Organfunktionen voraus. Die Gesamtheit dieser multimodalen (Echtzeit-)Überwachungsmaßnahmen lässt sich als Monitoring zusammenfassen, also die (Dauer-)Beobachtung (eines bestimmten Systems). Der Standard für die Aorten Chirurgie umfasst nicht-invasives und invasives hämodynamisches, respiratorisches und anästhesiologisches Monitoring sowie eine engmaschige Überwachung von Temperatur, Gerinnung und Laborparametern.

Augmentiert wird dieses Standardmonitoring von Techniken/Verfahren, die spezifisch auf den Patienten und den jeweiligen Eingriff abgestimmt werden [8, 27]. Der erste Teil des hier vorliegenden Übersichtsartikels „Intraoperatives Monitoring in der konventionellen und endovaskulären Aorten Chirurgie“ befasst sich mit drei in der offenkonventionellen Aorten Chirurgie bereits lange etablierten Verfahren: die transösophageale Echokardiographie gehört zu den fachgebietsübergreifend anerkannten Methoden des intraoperativen

Monitorings [8, 29]. Die beiden übrigen Verfahren, die Ableitung motorisch-evozierter Potenziale und die Liquordrainage, haben beide ihre Wurzeln und Evidenz in der offenen Aorten Chirurgie und werden nach und nach in die endovaskulären Eingriffe implementiert [25].

Die Autoren weisen darauf hin, dass es sich bei dem vorliegenden Artikel um eine Übersichtsarbeit handelt, die spezifisch und akzentuiert auf die o.g. Monitoringverfahren eingeht. Zur Vertiefung der jeweiligen Thematik sei auf das ausführliche Literaturverzeichnis verwiesen.

Transösophageale Echokardiographie

Hintergrund

Innerhalb der letzten zwei Dekaden hat die transösophageale Echokardiographie (TEE) einen immer höheren Stellenwert in der perioperativen Medizin erlangt. Die TEE gehört heute zum Standardmonitoring in der Herzchirurgie. Hier stellt sie u. a. bei der Evaluation von intraoperativ auftretender hämodynamischer Instabilität das Mittel der Wahl dar. Darüber hinaus wird die TEE auch bei endo-

vaskulären Aorteneingriffen zunehmend eingesetzt [14].

Technik

Im Rahmen aortenchirurgischer Eingriffe erfolgt der Einsatz der semiinvasiven TEE wie folgt: Nach Einführen der TEE-Sonde in den Ösophagus und Vorschieben in die retrokardiale Ausgangsposition erfolgt zunächst der mittösophageale Vier-Kammer-Blick. Anschließend wird die Sonde nach links dorsal gedreht um die Ao. thoracica descendens zu visualisieren (sog. Kurzachsenblick der Ao. thoracica descendens). Mit der Rotation des Schallkopfs von 0° auf 90° kann die thorakale Aorta in der langen Achse dargestellt (Längsachsenblick der Ao. thoracica descendens) werden. Das weitere Vorschieben der Sonde in die transgastrale Position erlaubt das Darstellen der Aorta bis zum Abgang des Truncus coeliacus. Beim Zurückziehen der Sonde aus der transgastralen Position in den oberen Ösophagus ist die thorakale Aorta bis zum Abgang der linken Arteria subclavia gut darstellbar. Der Aortenbogen ist durch die anatomische Überlappung von Trachea, linkem Hauptbronchus und Ösophagus nicht immer ausreichend zu visualisieren. Es bildet sich der sog. „tote Winkel“,

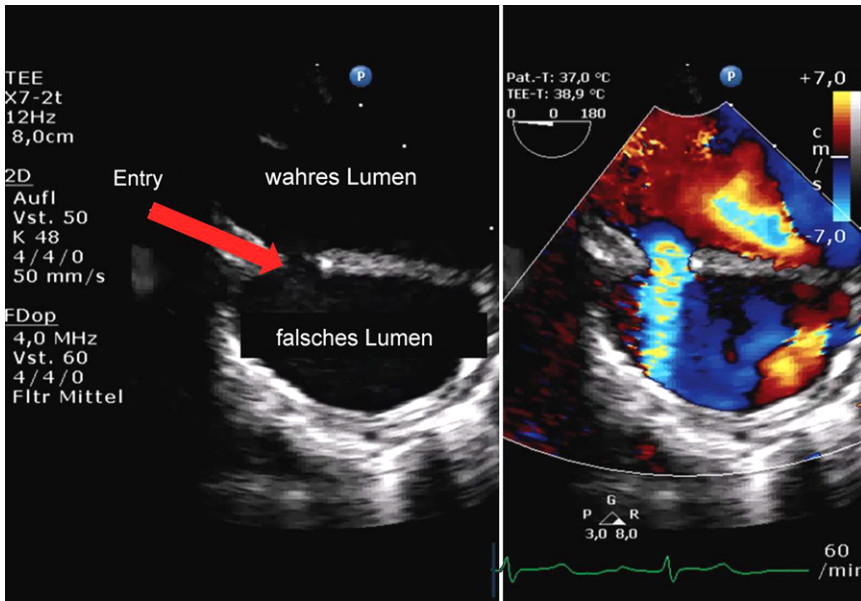


Abb. 1 ▲ Visualisierung von Entry, wahrem und falschem Lumen mittels transösophagealer Echokardiographie bei einem Patienten mit Aortendissektion

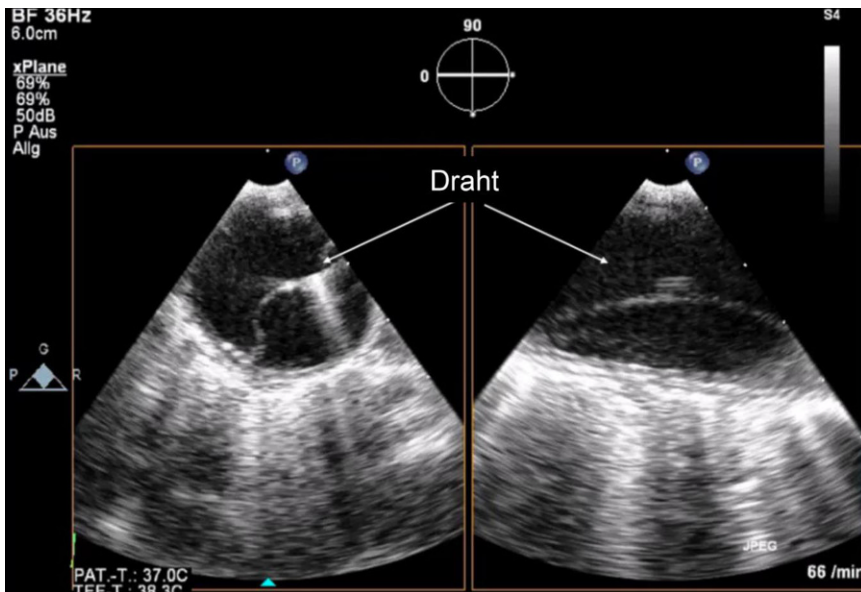


Abb. 2 ▲ Intraoperative Darstellung des Führungsdrahtes im wahren Lumen während einer thorakalen endovaskulären Aortenreparatur bei Aortendissektion

in welchem die Strukturen des Truncus brachiocephalicus und der li. A. carotis communis (oberer Anteil der Ao. ascendens und prox. Bogen) nicht ausreichend zur Darstellung kommen [28].

Evidenz und Limitationen

Die Implementierung der TEE in das aortenchirurgische Monitoring wird sowohl für die offene als auch die endovaskuläre

re Aortenchirurgie empfohlen, zumeist nach der CT-Angiographie (CTA) als Bildgebungsmethode der 2. Wahl [8, 14, 29]. Die TEE bietet in der Aortenchirurgie eine 2D- und 3D-Echtzeitevaluation der morphologischen und funktionalen Verhältnisse. Für die offene Chirurgie wird ihr daher fachübergreifend eine Empfehlung ausgesprochen (Klasse I/ Evidenzlevel B) [3, 8]. Schwächer ist der Empfehlungsgrad für ihre Verwendung

im Rahmen von endovaskulären Eingriffen (Klasse IIa/Evidenzlevel B). Diese in [8] genannte Empfehlung beruht jedoch auf einer Publikation aus dem Jahr 2005, die den Stellenwert der TEE bei thorakaler endovaskulärer Aortenreparatur (TEVAR) für Stanford-Typ-B-Dissektionen untersucht [23]. Auch in den 2017 von Riambau et al. publizierten *Clinical Practice Guidelines of the European Society for Vascular Surgery* wird die TEE in der Diagnostik thorakaler Aortenerkrankungen als Methode der 2. Wahl hinter der CTA eingestuft. Interessanterweise wird ihr eine konkrete Empfehlung als intraoperatives Monitoringwerkzeug lediglich im Rahmen der Aortentransektion (Diameterverhältnisse/Prothesenauswahl) ausgesprochen [29]. Die TEE bietet jedoch einen bedeutenden Informationsgewinn gegenüber der CTA und der intraoperativen Angiographie. Für die endovaskuläre Therapie der Aortendissektion Stanford Typ B mittels TEVAR ist insbesondere die zweifelsfreie Identifikation von wahrem/falschem Lumen essenziell. Oftmals ergibt der eigentliche Goldstandard der intraoperativen Gefäßdarstellung, die Angiographie, intraoperativ keinen eindeutigen Identifikationsnachweis [12]. Mittels TEE können beide Lumina einfach und zuverlässig differenziert werden. Durch die Kombination von B-Mode und Farb-Doppler kann die thorakale Aorta in Bezug auf Entry/Re-Entry systematisch untersucht und die Drahtlage kontrolliert werden (Abb. 1 und 2). Hier lässt sich die Sensitivität der Methode mittels Ultraschallkontrastmittel zusätzlich erhöhen [2]. Unmittelbar nach dem Freisetzen des Stentgrafts kann die TEE eine beginnende Thrombosierung des Falschkanals als indirektes Erfolgskriterium aufzeigen (Abb. 3). Auch die Frage nach einer potenziell nach TEVAR im Aortenbogen auftretenden retrograden Dissektion des Aortenbogens kann unmittelbar „on-table“ beantwortet werden bzw. durch die CTA ggf. bestätigt werden [5]. Mit der Anwendung des Pulse-Waved-Dopplers können dabei Blutflussrichtung/Blutflussgeschwindigkeit gemessen und die ventrikuläre Funktion oder eine evtl. vorliegende Aortenklappeninsuffizienz

differenziert evaluiert werden. Bei allen Aortenbogenpathologien erlaubt die TEE die antizipierte proximale Landungszone vor der Insertion/Freisetzung des Endografts nach Plaques/Atheromen zu untersuchen (Prävention Schlaganfall/Endoleak) [13, 23]. Die Visualisierung der Landungszone mittels TEE bietet dem Operateur die Möglichkeit, diese ggf. noch intraoperativ zu verändern. Im Rahmen der endovaskulären Therapie des traumatischen Aortenabrisses erlaubt das Verfahren vor Stentgraft-Freisetzung außerdem einen Diameterabgleich zwischen Landungszone und ausgewähltem Endograft durch erneute Kontrolle der Größenverhältnisse [29, 31]. Bei aortenchirurgischen Hybrideingriffen (z. B. Frozen-Elephant-Trunk) ist eine Differenzierung zwischen „Abschwitzen“ der Dacron-Prothese (Flussgeschwindigkeit meist <50 cm/s) und Endoleckage (Flussgeschwindigkeit meist >100 cm/s) mittels TEE möglich [14]. Als Hauptlimitation des Verfahrens gilt die Untersucherabhängigkeit. Des Weiteren weist das Verfahren im Bereich der supraaortalen Äste einen „toten Winkel“ auf. Unzureichend ist auch die Darstellung der subdiaphragmalen Aorta. Die TEE bedarf einer Allgemeinanästhesie; ihre Anwendung in Lokal- oder Regionalanästhesie ist daher limitiert.

Motorisch-evozierte Potenziale

Hintergrund

Um das Auftreten einer spinalen Ischämie („spinal cord injury“, SCI) im Rahmen konventionell-offener und endovaskulärer Aortenchirurgie frühzeitig zu erkennen, ist eine möglichst exakte Echtzeitüberwachung der intraoperativen Rückenmarksfunktion angezeigt [34, 37]. Neben weiteren Maßnahmen wurde hierfür die Ableitung motorisch-evozierter Potenziale (MEP) beschrieben [20, 26].

Technik

Grundsätzlich wird zur Durchführung des Verfahrens das Gehirn des Patienten nach Platzierung entsprechender Elektroden durch elektronische Stimulation

Gefäßchirurgie 2019 · 24:413–421 <https://doi.org/10.1007/s00772-019-0552-7>
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2019

M. S. Bischoff · A. Gombert · A. Brcic · S. Jungi · K. von Aspern · M. Wortmann · K. Meisenbacher · D. Böckler

Intraoperatives Monitoring in der konventionellen und endovaskulären Aortenchirurgie – Etablierte Verfahren

Zusammenfassung

Der erste Teil dieser Übersichtsarbeit „Intraoperatives Monitoring in der konventionellen und endovaskulären Aortenchirurgie“ befasst sich mit drei etablierten Monitoringverfahren, welche im Rahmen der konventionell-offenen Aortenchirurgie selektiv Anwendung finden. Diese sind (1) die transösophageale Echokardiographie (TEE), (2) die Ableitung motorisch-evozierter Potenziale (MEP) und

(3) die zerebrospinale Liquordrainage (CSFD). Jedes Verfahren wird einzeln hinsichtlich seiner Methodik und Evidenz diskutiert. Abschließend erfolgt eine zusammenfassende Bewertung.

Schlüsselwörter

Aorta · TEVAR · EVAR · Transösophageale Echokardiographie · Liquordrainage

Intraoperative monitoring in conventional and endovascular aortic surgery: established procedures

Abstract

The first part of this review “Intraoperative Monitoring in Conventional and Endovascular Aortic Surgery” deals with three established monitoring procedures that are selectively applied in conventional open aortic surgery. These are (1) transesophageal echocardiography (TEE), (2) the derivation of motor-associated potentials (MEP), and (3) cerebrospinal fluid drainage (CSFD). Each procedure is discussed individually with

regard to its methodology and evidence. Finally, a summarizing evaluation is carried out.

Keywords

Aorta · Thoracic endovascular aortic repair · Endovascular aortic repair · Transesophageal echocardiography · Cerebrospinal fluid drainage

(Digitimer D-185; Digitimer, Herfordshire, UK) mittels einer Serie von fünf Reizen (elektromyographische Summenantwort, je 500 V/1 bis 1,5 A, Intervall von zwei Millisekunden) repetitiv stimuliert. Die entstehenden Potenziale werden durch Oberflächenelektroden im Bereich des M. abductor pollicis brevis und des M. tibialis anterior beidseits abgeleitet (■ Abb. 4). Zwischen der maximal-negativen sowie der maximal-positiven Ableitung erfolgt die Amplitudenmessung. Der für die Bewertung der MEP-Veränderungen verwendete Grad der anästhesiologischen Muskelrelaxation wird abgeglichen durch sog. „compound muscle action“ Potenziale (CMAP). Diese werden im Bereich des M. abductor digiti V nach einer einzelnen präoperativen supramaximalen Stimulation des entsprechenden N. ulnaris am Handgelenk erhoben. Während der Prozedur wird ein Wert

(T1 %) von 20 % im Vergleich mit der CMAP-Messung als Ausgangswert angestrebt. Als Muskelrelaxans wird Vecuronium verwendet. Neben den erhobenen MEP werden Blutdruckwerte sowie der Grad der Muskelrelaxation zur externen Datenauswertung transferiert. Hierzu werden die Werte sowie die zeitliche Entwicklung grafisch verschiedenfarbig dargestellt. Das Verhältnis zwischen der Tibialis-anterior-Amplitude und dem Mittelwert der Abductor-pollicis-Amplitude bds. wird dabei als kritische Kontrollgröße konstant bewertet. Als Zeichen einer drohenden SCI wird ein Abfall der MEP-Amplitude >50 % eingestuft (■ Abb. 5) Dieses wird umgehend an das operative und anästhesiologische Team kommuniziert. Der operative Eingriff wird durch einen hochspezialisierten Techniker/neurophysiologischen Fachangestellten begleitet. Parallel erfolgt die telemedizinische Kontrolle und Eva-

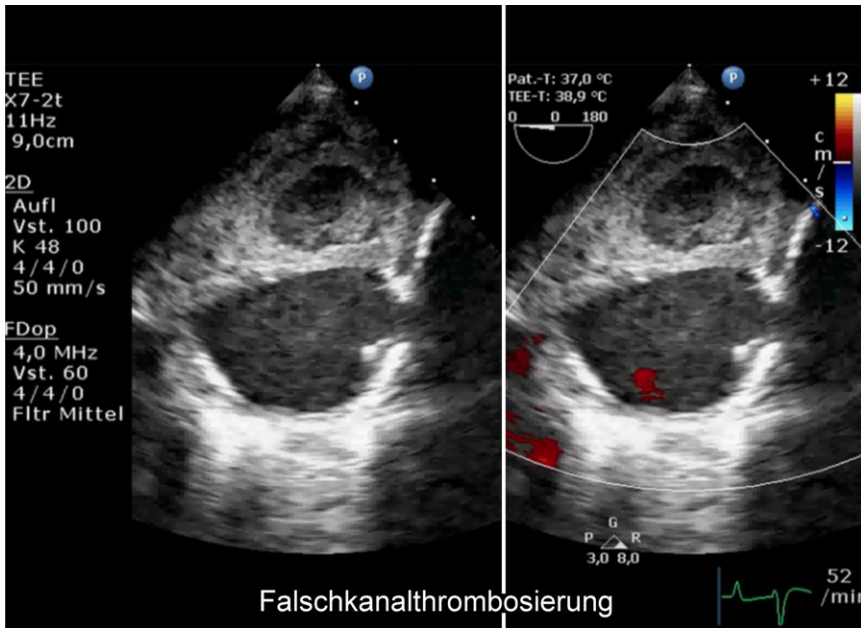


Abb. 3 ▲ Nachweis der Falschkanalthrombosierung nach endovaskulärem Entryverschluss in der transösophagealen Echokardiographie

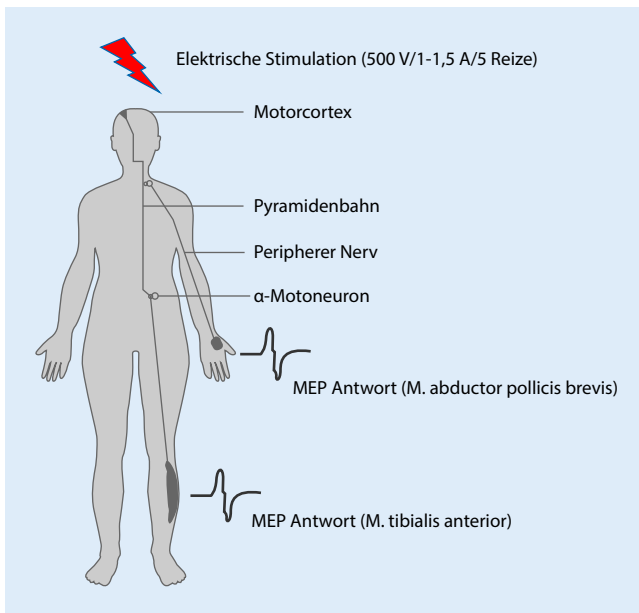


Abb. 4 ◀ Zur Messung der motorisch-evozierten Potenziale (MEP) wird ein transkranieller elektrischer Stimulus entlang der Pyramidenbahn über die α -Motoneurone im Vorderhorn bis zu den peripheren Nerven geleitet. Die MEP-Signale werden dann an der unteren Extremität (M. tibialis anterior) abgeleitet. Die obere Extremität (M. abductor pollicis brevis) dient als Referenz

luation der MEP-Amplitude durch einen Neurophysiologen im Kontext des stattfindenden Eingriffes sowie der durchgeführten Anästhesie. Dieses Aachener Konzept hat sich im europäischen Raum in mehreren aortalen Referenzzentren telemedizinisch bewährt [16]. Neben hämodynamischen Korrekturmaßnahmen (z.B. Steigerung des arteriellen Mittelwerts >90 mm Hg, zentralvenöser Druck <5 mm Hg, Ausgleich einer ggf. vorliegenden Anämie) erfolgt eine An-

passung des operativen Vorgehens. Ziel ist es dabei, die Perfusion des Rückenmarks zu optimieren, d.h. in der offenen Aorten Chirurgie die Reimplantation der Segmentarterien, bei der endovaskulären Aorten Chirurgie die Freigabe der Iliakalstrombahn, die Revaskularisation der linken A. subclavia, ein gezieltes temporäres Offenlassen/Nichtanschießen von Fenstern/Prothesenarmen [17, 21, 33].

Evidenz und Limitationen

Die Ableitung von MEP wird dafür verwendet, aus ischämieinduzierten Veränderungen der Rückenmarksfunktion, operative und anästhesiologische Gegenmaßnahmen einzuleiten. Es handelt sich also um ein veritables Neuromonitoringwerkzeug. Die Sensitivität der MEP für die Detektion einer intraoperativen SCI liegt durch die direkte Ableitung der α -Motoneurone (kortikospinaler Trakt bzw. direkte Rückenmarkübertragung) über der in diesem Kontext beschriebenen Sensitivität der somatosensorisch-evozierten Potenziale [1, 9]. Eine aktuelle Metaanalyse beziffert die Sensitivität des MEP-Monitorings auf 89,1% bei einer Spezifität von 99,3% [38]. In den aktuellen Leitlinien der *European Society of Vascular Surgery* wird für die konventionelle Chirurgie eine Anwendung von MEP-Monitoring grundsätzlich empfohlen (Klasse II, Evidenzlevel C) [29]. Für die endovaskuläre Aorten Chirurgie fehlt eine entsprechende Empfehlung in der Leitlinie. Ähnlich positioniert sich die *European Association for Cardio-Thoracic Surgery*, die der Methode sowohl für die Anwendung in der offenen als auch der endovaskulären Aorten Chirurgie eine Klasse-IIb/Evidenzlevel-C-Empfehlung ausspricht [11].

Insbesondere die Datenlage bzgl. einer MEP-gesteuerten Operationsstrategie ist nicht eindeutig. Yoshitani et al. berichten in der aktuell größten Studie (N= 1214) zu dieser Thematik, dass die Rate einer SCI nach 25% MEP-Amplitudenabfall und anschließender Erholung bei 8% lag [41]. Nach MEP-Abfall wurden dabei diverse Interventionen zur Restaurierung der MEP-Amplitude durchgeführt (u. a. hämodynamische Korrekturen, Segmentarterienreimplantation, CSFD). Eine Signalerholung war dabei eindeutig mit einem besseren klinischen Outcome assoziiert (8% vs. 42% SCI). Allerdings konnte ein Unterschied zwischen jedweder Intervention und reiner Observation nicht gezeigt werden. Es bleibt daher die Frage: Können MEP tatsächlich das klinische Outcome verbessern oder spiegeln sie es lediglich wider? Die Ergebnisse der Studie stehen entgegen den Erfahrungen vieler Gruppen, die mittels MEP-

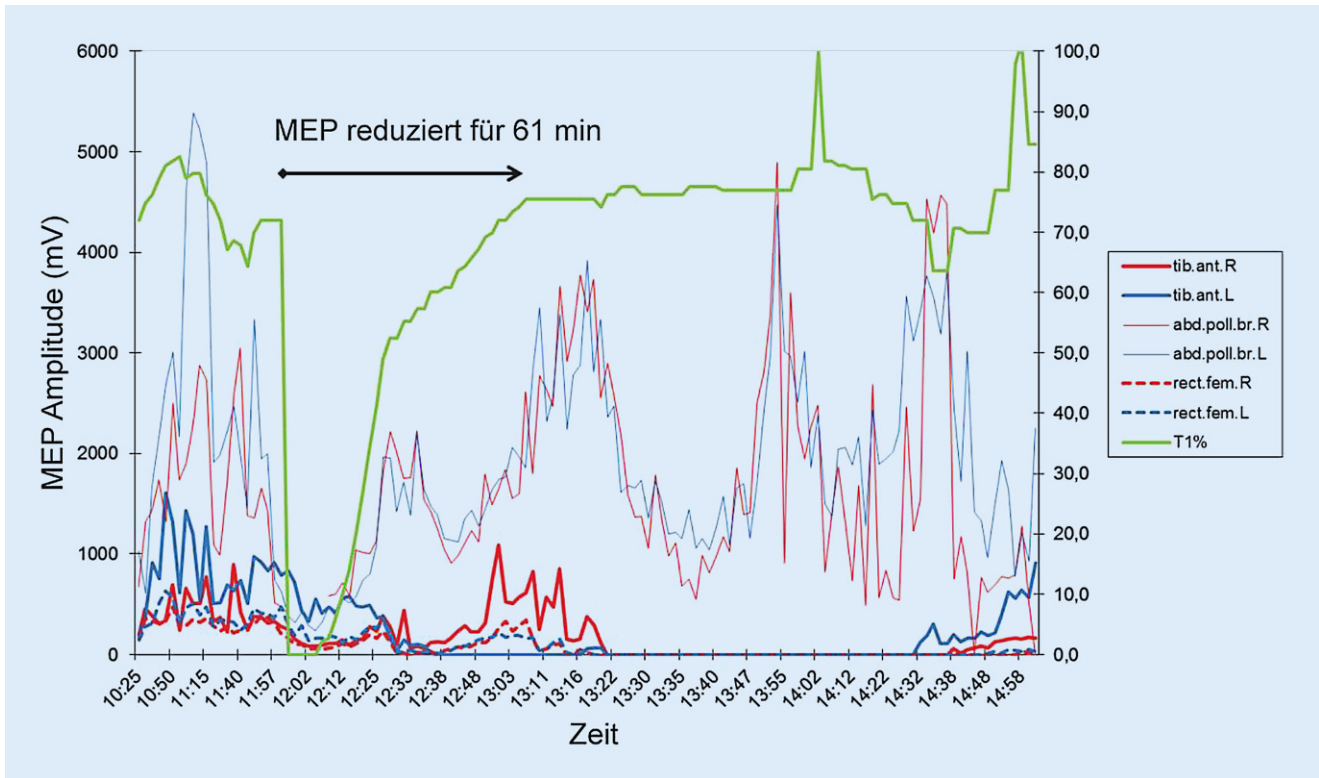


Abb. 5 ▲ Intraoperatives Monitoring von motorisch-evozierten Potenzialen (MEP). Die Beispielgrafik zeigt einen vollständigen MEP-Verlust (Verlauf T1 % in hellgrün) nach aortaler Klemmung bei distaler Perfusion durch die Herzlungenmaschine. Durch die Anlage von drei Interkostalararterienbypässen konnten die MEP-Signale nach 61 min wiederhergestellt werden. Korrelierend zeigte sich postoperativ eine erhaltene Funktionalität des Rückenmarks ohne bleibende Schäden (Grafik modifiziert nach [15])

gesteuerter operativer Interventionen überzeugende Ergebnisse erzielt haben [4, 20, 33].

Zerebrospinale Liquordrainage

Hintergrund

Der spinale Perfusionsdruck ergibt sich aus der Differenz einer Fraktion des arteriellen Mitteldrucks und des CSF-Drucks bzw. (je nach Höhe) des zentral-venösen Drucks [11]. Durch eine lokale Minderperfusion des Rückenmarkes und das konsekutive Ödem kommt es zu einem Anstieg des intraspinalen Drucks. Hierdurch wiederum sinkt der spinale Perfusionsdruck, was konsekutiv die Malperfusion verstärkt. Final führt dieser Circulus vitiosus zu einer klinisch manifesten SCI mit Paraparese/Paraplegie. Das Risiko einer SCI kann durch verschiedene Maßnahmen gesenkt werden, die entweder auf eine Verbesserung des Einstroms in das Kollateralnetzwerk des Rücken-

marks, eine Erhöhung des Perfusionsdrucks oder die Verbesserung der Oxygenierung abzielen. In diesem Kontext ist die CSFD als Maßnahme zur Steigerung des spinalen Perfusionsdrucks zu sehen.

Technik

Technisch gesehen erfolgt – meist im Vorfeld des Eingriffes – die Anlage eines Spinalkatheters. Das Monitoring des CSF-Drucks während des Eingriffes und in der postoperativen Phase erfolgt entweder manuell über ein Druckmesssystem, analog zur arteriellen Blutdruckmessung, oder alternativ über ein vollautomatisiertes System (z. B. LiquoGuard, Firma Möller Medical GmbH, Fulda, Deutschland; ■ Abb. 6). Dies erlaubt neben einer genauen Dokumentation des CSF-Drucks und seiner Entwicklung nach Aortenklammung/Stentgraftimplantation auch eine druckgesteuerte automatisierte Drainage (ml/h), sobald eine prädefinierte

max./min.-Druckgrenze überschritten wird [24]. Gegenüber der klassischen Anwendung eines Systems zur Druckmessung sowie einer rezidivierenden manuellen Liquordrainage haben diese vollautomatisierten Systeme Vorteile bezüglich der Sterilität und der Handhabung. Die Dauer der postoperativen Liquordrainage wird meist auf drei Tage beschränkt, wobei bei symptomatischen Patienten auch eine Liegedauer von über einer Woche möglich ist [40].

Evidenz und Limitationen

Die CSFD gilt in der Theorie als disziplinübergreifend akzeptiert. Die aktuellen Leitlinien empfehlen im Wesentlichen einen prophylaktischen Einsatz bei Patienten mit hohem Risiko für die Entwicklung einer SCI [10, 18, 30, 39]. Die größte Evidenz hierzu stammt aus der offenen thorakoabdominellen Aortenchirurgie. Basierend auf der Arbeit von Coselli et al., wird die CSFD daher allgemein

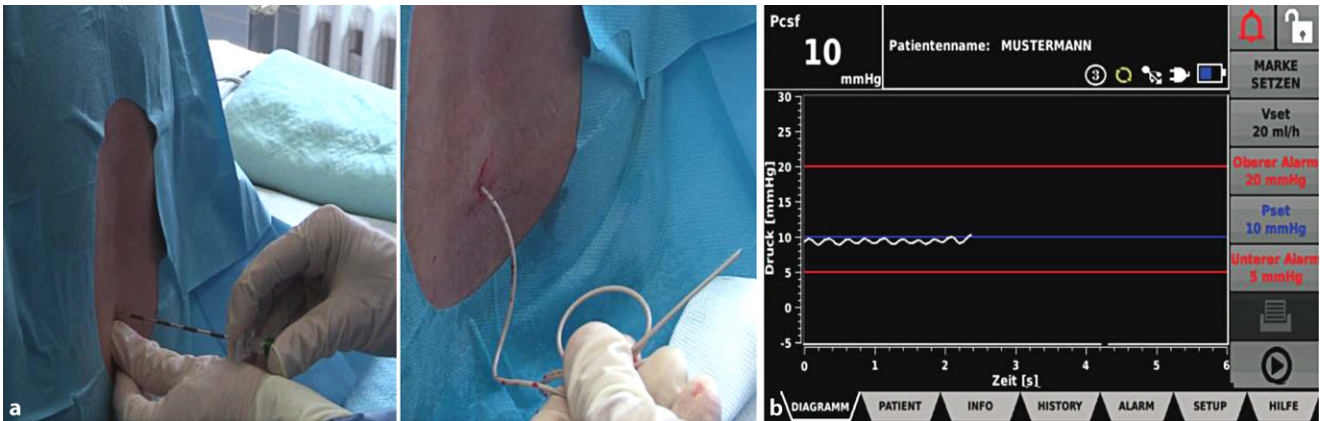


Abb. 6 ▲ Automatisierte Liquordrainage durch die Verwendung des *LiquoGuard*®7. Präoperative Anlage eines Spinalkatheters (a) Es erfolgt eine kontinuierliche Überwachung des Liquordrucks als Surrogat des intrakraniellen/intraspinalen Drucks (b). Der Zieldruck wurde auf 10 mm Hg festgelegt (Pset), die min./max.-Alarmgrenzen bei 5 bzw. 20 mm Hg. Der aktuelle Druck beträgt 10 mm Hg (Pcsf). Wenn der aktuelle Druck den Zieldruck überschreitet, beginnt eine Liquordrainage mit maximal 20 ml/h (Vset), bis der Zieldruck wieder erreicht ist. (Mit freundl. Genehmigung des Herstellers, Möller Medical GmbH, Fulda, Deutschland)

für die offene thorakale und thorakoabdominelle Aorten Chirurgie empfohlen [7, 18]. Diese Daten sind jedoch auf endovaskuläre Eingriffe nicht automatisch übertragbar. Zwar wird die CSFD auch für die endovaskuläre Chirurgie empfohlen, insbesondere bei Patienten mit hohem Risiko für eine SCI (u. a. Endograftimplantation >200 mm, vorheriger infrarenaler Aortenersatz) [8], allerdings mit deutlich schwächerer Evidenz. Hochqualitative Daten zur Evaluation des Stellenwerts der CSFD im endovaskulären Bereich fehlen. Auch besteht nach wie vor die Diskussion, ob die Einlage eines Spinalkatheters als prophylaktische Maßnahme in der endovaskulären Aorten Chirurgie überhaupt gerechtfertigt ist. In einem systematischen Review unter Einschluss von 10 Studien mit über 2000 Patienten konnte durch einen prophylaktischen Einsatz der CSFD die Inzidenz der SCI bei der endovaskulären Therapie thorakoabdomineller Aortenaneurysmen halbiert werden (relatives Risiko 0,42; $p = 0,0009$) [22].

Ein präventiver Einsatz der CSFD muss jedoch vor dem Hintergrund der möglichen Komplikationen des Verfahrens (<5% der Fälle) diskutiert werden [8]. Diese sind meist im Verlauf selbstlimitierend (z. B. Kopfschmerzen durch intrakranielle Hypotension oder intermittierende Liquorfisteln). Allerdings sind auch Major-Komplikationen wie intrazerebrale Blutungen beschrieben

(ca. 1%) [8]. Die Drainage sollte dabei möglichst langsam und kontinuierlich erfolgen; die Bolusdrainage größerer Volumina ist zu vermeiden [8]. Neben dem präventiven Einsatz kann auch bei bereits eingetretener SCI die notfallmäßige Anlage eines Katheters zur CSFD erfolgen. Hier konnten im Rahmen kleinerer Fallserien gute Ergebnisse mit kompletter Remission erzielt werden [35]. Hieraus ergibt sich der aktuell zumeist selektive Verwendungsansatz bei endovaskulären Aorteneingriffen. Die Indikationsstellung wird nach wie vor standortspezifisch unterschiedlich gestellt.

Streng genommen kommt der CSFD nur bei prophylaktischer/selektiver Einlage ein Monitoringaspekt zu. Referenzwerte für einen „zu hohen“ mit einer SCI einhergehenden CSF-Druck (Normwert: 5–18 mm Hg; Zieldruck: zumeist Ausgangsdruck; bei SCI ggf. bis 5 mm Hg) existieren nicht [8, 19]. Zwar liegt der CSF-Druckmessung im besten Fall eine Echtzeitmessung zugrunde. Allerdings ist für dessen Korrektur oftmals ein multimodales Management notwendig. Dies umfasst eine forcierte CSFD auf der einen sowie hämodynamische Adjustierungen auf der anderen Seite [11]. Das Monitoring des CSF-Drucks stellt daher ein unscharfes Monitoring der Rückenmarksintegrität dar, welches im klinischen/apparativen Gesamtkontext interpretiert werden muss und daher

viel interdisziplinäre Expertise erfordert. Berücksichtigt man jedoch die tragischen Konsequenzen einer SCI und das insgesamt limitierte Risiko der CSFD, so erscheint die CSFD, zumindest im Hochrisikokollektiv, gerechtfertigt. Gerade vor dem Hintergrund der drohenden irreparablen Schädigung des Rückenmarkes sollte in diesen Fällen nach Ausschöpfung der konservativen Maßnahmen (u. a. Anhebung des arteriellen Mitteldrucks, Senkung des zentralvenösen Drucks und Anheben des Hb-Werts [11]) eine zeitnahe CSFD indiziert werden. Obwohl in einigen Fällen ein Anstieg des CSF-Drucks direkt nach Implantation der aortalen Stentgrafts beobachtet werden kann, ist dies nicht als Entscheidungskriterium bezüglich eines intraoperativen Strategiewechsels (z. B. Aufteilen der operativen Prozedur auf zwei oder mehrere Teileingriffe) evaluiert.

Transösophageale Echokardiographie

Die Implementierung der TEE in das aorten chirurgische Monitoring wird sowohl für die offene als auch die endovaskuläre Aorten Chirurgie empfohlen, zumeist nach der CT-Angiographie (CTA) als Bildgebungsmethode der 2. Wahl [8, 14, 29]. Die TEE ist unter Beachtung ihrer Limitationen (u. a. „toter Winkel“/unzureichende Darstellung supraaorta-

ler Äste und subdiaphragmaler Aorta, eingeschränkte Anwendbarkeit bei Eingriffen in Lokalanästhesie) in der Hand des erfahrenen Echokardiographen für die endovaskuläre Aortenchirurgie sehr wertvoll. Dies gilt insbesondere für die Therapie der Aortendissektion. Hier bietet sie eine optimale Therapieführung. Zusammenfassend ist der klinisch-praktische Nutzen der TEE aus Sicht der Autoren für das peri- und intraoperative Management vieler aortaler Pathologien wahrscheinlich höher einzuordnen als die Literatur aktuell vorgibt. Sie sollte daher fester Bestandteil der kontemporären Aortenchirurgie sein.

Zerebrospinale Liquordrainage

Neben einer Vielzahl von invasiven und nicht invasiven Maßnahmen stellt die perioperative CSFD im Rahmen offener chirurgischer Eingriffe an der thorakalen und thorakoabdominellen Aorta ein effektives Mittel zur Senkung der Häufigkeit spinaler Ischämien dar. Eine vergleichbare Evidenz hinsichtlich ihres Einsatzes bei endovaskulären Eingriffen liegt derzeit nicht vor. Da die CSFD mit nicht zu vernachlässigenden Komplikationen einhergehen kann, scheint eine routinemäßige Verwendung im Rahmen von endovaskulären Aorteneingriffen nicht gerechtfertigt. In vielen Zentren erfolgt daher eine selektive Anwendung des Verfahrens bei Patienten mit einem erhöhten Risiko für das Auftreten einer spinalen Ischämie. Bei postoperativen neurologischen Ausfällen durch eine spinale Ischämie stellt die sofortige CSFD in Kombination mit der Anhebung des arteriellen Mitteldrucks eine effektive Therapiemaßnahme dar.

Motorisch-evozierte Potenziale

Im Gegensatz zur CSFD handelt es sich bei der Ableitung von MEP um ein veritables Neuromonitoring. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Applikation der MEP-Überwachung im Rahmen aortenchirurgischer Eingriffe sind eine hochspezialisierte apparative und personelle Logistik sowie neurophysiologisches Know-how. Vor dem Hintergrund bestehender Evidenz und der klinischen

Relevanz einer SCI für den Patienten erscheint die standardisierte Ableitung von MEP in aortenchirurgischen Zentren prinzipiell im multimodalen Konzept der Rückenmarkprotektion als *conditio sine qua non* [15]. Allerdings ist der klinische Einsatz immer noch nicht allgemein akzeptiert und implementiert. Dies gilt, trotz Evidenz, insbesondere für die endovaskuläre Aortenchirurgie [4, 6, 32]. Ziel sollte es daher sein, MEP-Leitlinien zu erstellen [36]. Dies würde ein methodisch uniformes Herangehen (u. a. anästhesiologisches Management, Stimulationstechnik, Outcome-Variablen) mit entsprechender Dateninterpretation – beispielsweise zentral-telemedizinisch via Aachen/Maastricht – erlauben. Dies könnte in den teilnehmenden Zentren das Informationsverständnis erhöhen, die bereits vorliegende Evidenz verfeinern und letztlich zu verbesserten Ergebnissen führen.

Fazit für die Praxis

Die drei hier vorgestellten Verfahren – transösophageale Echokardiographie (TEE), Ableitung motorisch-evozierter Potenziale (MEP) und zerebrospinale Liquordrainage (CSFD) – gelten als etablierte Monitoringverfahren im Rahmen der thorakoabdominellen Aortenchirurgie. Allen ist gemeinsam, dass ihr Einsatz sowohl in der offenen als auch der endovaskulären Aortenchirurgie erfolgt und interdisziplinär kardiologisch, gefäßchirurgisch und anästhesiologisch eingesetzt wird. Definitiv erreichen die drei vorgestellten Monitoringverfahren ihren größten Wirkungsgrad in aortalen Referenzzentren, da in diesen die entsprechenden logistischen, personellen und materiellen Voraussetzungen in der Regel gegeben sind.

Korrespondenzadresse

PD Dr. med. M. S. Bischoff
Klinik für Gefäßchirurgie und Endovaskuläre Chirurgie, Universitätsklinikum Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 110, 69120 Heidelberg, Deutschland
moritz.bischoff@med.uni-heidelberg.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M.S. Bischoff, A. Gombert, A. Bracic, S. Jung, K. von Aspern, M. Wortmann, K. Meisenbacher und D. Böckler geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien. Für Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb des Manuskripts, über die Patienten zu identifizieren sind, liegt von ihnen und/oder ihren gesetzlichen Vertretern eine schriftliche Einwilligung vor.

Literatur

1. Achouh PE, Estrera AL, Miller CC 3rd et al (2007) Role of somatosensory evoked potentials in predicting outcome during thoracoabdominal aortic repair. *Ann Thorac Surg* 84:782–787 (discussion 787–788)
2. Agricola E, Slavich M, Rinaldi E et al (2016) Usefulness of contrast-enhanced transoesophageal echocardiography to guide thoracic endovascular aortic repair procedure. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 17:67–75
3. American Society of Anesthesiologists, Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force on Transesophageal Echocardiography (2010) Practice guidelines for perioperative transesophageal echocardiography. An updated report by the American Society of Anesthesiologists and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Task Force on Transesophageal Echocardiography. *Anesthesiology* 112:1084–1096
4. Banga PV, Oderich GS, Reis De Souza L et al (2016) Neuromonitoring, cerebrospinal fluid drainage, and selective use of iliofemoral conduits to minimize risk of spinal cord injury during complex Endovascular aortic repair. *J Endovasc Ther* 23:139–149
5. Canaud L, Ozdemir BA, Patterson BO et al (2014) Retrograde aortic dissection after thoracic endovascular aortic repair. *Ann Surg* 260:389–395
6. Chung J, Ouzounian M, Lindsay T (2018) Motor evoked potential monitoring during thoracoabdominal aortic surgery: useful or not? *Anesth Analg* 126:741–742
7. Coselli JS, Lemaire SA, Koksoy C et al (2002) Cerebrospinal fluid drainage reduces paraplegia after thoracoabdominal aortic aneurysm repair: results of a randomized clinical trial. *J Vasc Surg* 35:631–639
8. Czerny M, Schmidl J, Adler S et al (2019) Editor's choice—current options and recommendations for the treatment of thoracic aortic pathologies involving the aortic arch: an expert consensus document of the European association for Cardiothoracic surgery (EACTS) & the European society for vascular surgery (ESVS). *Eur J Vasc Endovasc Surg* 57:165–198
9. De Haan P, Kalkman CJ (2001) Spinal cord monitoring: somatosensory- and motor-evoked potentials. *Anesthesiol Clin North America* 19:923–945
10. Erbel R, Aboyans V, Boileau C et al (2014) 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the

- Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 35:2873–2926
11. Etz CD, Weigang E, Hartert M et al (2015) Contemporary spinal cord protection during thoracic and thoracoabdominal aortic surgery and endovascular aortic repair: a position paper of the vascular domain of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 47:943–957
 12. Evangelista A, Flachskampf FA, Erbel R et al (2010) Echocardiography in aortic diseases: EAE recommendations for clinical practice. *Eur J Echocardiogr* 11:645–658
 13. Fattori R, Caldarera I, Rapezzi C et al (2000) Primary endoleakage in endovascular treatment of the thoracic aorta: importance of intraoperative transesophageal echocardiography. *J Thorac Cardiovasc Surg* 120:490–495
 14. Goldstein SA, Evangelista A, Abbara S et al (2015) Multimodality imaging of diseases of the thoracic aorta in adults: from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging: endorsed by the Society of Cardiovascular Computed Tomography and Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Soc Echocardiogr* 28:119–182
 15. Gombert A, Grommes J, Hilkman D et al (2018) Recovery of lost motor evoked potentials in open thoracoabdominal aortic aneurysm repair using intercostal artery bypass. *J Vasc Surg Cases Innov Tech* 4:54–57
 16. Greiner A, Mess WH, Schmidli J et al (2012) Cyber medicine enables remote neuromonitoring during aortic surgery. *J Vasc Surg* 55:1227–1232 (discussion 1232–1223)
 17. Heidemann F, Tsilimparis N, Rohlfes F et al (2018) Staged procedures for prevention of spinal cord ischemia in endovascular aortic surgery. *Gefäßchirurgie* 23:39–45
 18. Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA et al (2010) 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM guidelines for the diagnosis and management of patients with Thoracic Aortic Disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *Circulation* 121:e266–e369
 19. Huynh TT, Miller CC 3rd, Estrera AL et al (2005) Correlations of cerebrospinal fluid pressure with hemodynamic parameters during thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *Ann Vasc Surg* 19:619–624
 20. Jacobs MJ, Mess W, Mochtar B et al (2006) The value of motor evoked potentials in reducing paraplegia during thoracoabdominal aneurysm repair. *J Vasc Surg* 43:239–246
 21. Kasprzak PM, Gallis K, Cucuruz B et al (2014) Editor's choice—Temporary aneurysm sac perfusion as an adjunct for prevention of spinal cord ischemia after branched endovascular repair of thoracoabdominal aneurysms. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 48:258–265
 22. Khan NR, Smalley Z, Nesvick CL et al (2016) The use of lumbar drains in preventing spinal cord injury following thoracoabdominal aortic aneurysm repair: an updated systematic review and meta-analysis. *J Neurosurg Spine* 25:383–393
 23. Koschyk DH, Nienaber CA, Knap M et al (2005) How to guide stent-graft implantation in type B aortic dissection? Comparison of angiography, transeosophageal echocardiography, and intravascular ultrasound. *Circulation* 112:1260–1264
 24. Kotelis D, Bianchini C, Kovacs B et al (2015) Early experience with automatic pressure-controlled cerebrospinal fluid drainage during thoracic endovascular aortic repair. *J Endovasc Ther* 22:368–372
 25. Maier S, Shcherbakova M, Beyersdorf F et al (2018) Benefits and risks of prophylactic cerebrospinal fluid catheter and evoked potential monitoring in symptomatic spinal Cord Ischemia low-risk thoracic Endovascular aortic repair. *Thorac Cardiovasc Surg*. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1642611>
 26. Meylaerts SA, Jacobs MJ, Van Iterson V et al (1999) Comparison of transcranial motor evoked potentials and somatosensory evoked potentials during thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *Ann Surg* 230:742–749
 27. Peterss S, Pichlmaier M, Curtis A et al (2017) Patient management in aortic arch surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 51:i4–i14
 28. Puchalski MD, Lui GK, Miller-Hance WC et al (2019) Guidelines for performing a comprehensive transesophageal echocardiographic examination in children and all patients with congenital heart disease: recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 32:173–215
 29. Rimbau V, Böckler D, Brunkwall J et al (2017) Editor's choice—management of descending thoracic aorta diseases: clinical practice guidelines of the European Society for Vascular Surgery (ESVS). *Eur J Vasc Endovasc Surg* 53:4–52
 30. Rimbau V, Capoccia L, Mestres G et al (2014) Spinal cord protection and related complications in endovascular management of B dissection: LSA revascularization and CSF drainage. *Ann Cardiothorac Surg* 3:336–338
 31. Rocchi G, Lofiego C, Biagini E et al (2004) Transesophageal echocardiography-guided algorithm for stent-graft implantation in aortic dissection. *J Vasc Surg* 40:880–885
 32. Schurink GW, De Haan MW, Peppelenbosch AG et al (2013) Spinal cord function monitoring during endovascular treatment of thoracoabdominal aneurysms: implications for staged procedures. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 54:117–124
 33. Schurink GW, Peppelenbosch AG, Mees BM et al (2015) Strategies to prevent spinal cord ischemia in thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *J Cardiovasc Surg (torino)* 56:281–286
 34. Spanos K, Kolbel T, Kubitz JC et al (2019) Risk of spinal cord ischemia after fenestrated or branched endovascular repair of complex aortic aneurysms. *J Vasc Surg* 69:357–366
 35. Strohm TA, John S, Hussain MS (2018) Cerebrospinal fluid drainage and blood pressure elevation to treat acute spinal cord infarct. *Surg Neurol Int* 9:195
 36. Sutedja NA, Hollands AWH, Jacobs MJ (2017) MEP monitoring during aortic surgery: what we truly know. *J Anesth* 31:640
 37. Svensson LG, Crawford ES, Hess KR et al (1993) Experience with 1509 patients undergoing thoracoabdominal aortic operations. *J Vasc Surg* 17:357–368 (discussion 368–370)
 38. Tanaka Y, Kawaguchi M, Noguchi Y et al (2016) Systematic review of motor evoked potentials monitoring during thoracic and thoracoabdominal aortic aneurysm open repair surgery: a diagnostic meta-analysis. *J Anesth* 30:1037–1050
 39. Torsello G, Gefäßmedizin KLDDGFGU (2018) Leitlinie für „Typ B Aortendissektion“. AWMF-Registernummer: 004–034
 40. Wortmann M, Böckler D, Geisbüsch P (2017) Perioperative cerebrospinal fluid drainage for the prevention of spinal ischemia after endovascular aortic repair. *Gefäßchirurgie* 22:35–40
 41. Yoshitani K, Masui K, Kawaguchi M et al (2018) Clinical utility of intraoperative motor-evoked potential monitoring to prevent postoperative spinal cord injury in thoracic and thoracoabdominal aneurysm repair: an audit of the Japanese association of spinal cord protection in aortic surgery database. *Anesth Analg* 126:763–768

Hier steht eine Anzeige.

