

REBOA (Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta): brauchen wir das wirklich?

M. Wortmann, K. Elias, Sebastian Zerwes, D. Böckler, Alexander Hyhlik-Dürr

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Wortmann, M., K. Elias, Sebastian Zerwes, D. Böckler, and Alexander Hyhlik-Dürr. 2018. "REBOA (Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta): brauchen wir das wirklich?" *Notfall + Rettungsmedizin* 22 (2): 100–110.
<https://doi.org/10.1007/s10049-017-0396-1>.



REBOA (Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta)

Brauchen wir das wirklich?

Einleitung

Die zunehmende Bedrohung durch Terroranschläge in Europa beschäftigt derzeit unsere Gesellschaft. So investiert der Freistaat Bayern 30 Mio. € in neue Schutzausrüstungen für mehr als 40.000 Polizeibeamte (Bayerisches Innenministerium, 09.06.2017). Auch aus medizinischer Sicht ist eine adäquate Vorbereitung auf mögliche terroristische Anschläge unabdingbar, da sie sowohl durch die Anzahl der Schwerverletzten als auch durch die zu erwartenden Verletzungsmuster das Spektrum der Notfallmedizin neu definieren könnten. Bereits heute ist der Tod durch Verbluten die häufigste, potenziell vermeidbare Todesursache traumatisierter Patienten im militärischen und zivilen Bereich [1–3]. Einer von 10 Traumapatienten weltweit verstirbt, davon immerhin 30 % durch eine Blutung [4]. Hauptziel der Therapie bei lebensbedrohlichen, traumatisch bedingten Blutungen ist die Aufrechterhaltung der myokardialen und zerebralen Oxygenierung. Das gilt gleichermaßen für internistische Krankheitsbilder, wie z. B. dem nichttraumatischen Herzstillstand [5], der neben traumatischen Gefäßverletzungen einen Kernbereich der Notfallmedizin darstellt.

Sowohl bei traumatischen als auch bei nichttraumatischen Krankheitsbildern könnte eine endovaskuläre Ballon-Blockade der Aorta (Resuscitative Endo-

vascular Balloon Occlusion of the Aorta, REBOA) die Überlebenswahrscheinlichkeit der betroffenen Patienten erhöhen. In dem folgenden Übersichtsartikel soll die Frage geklärt werden, ob und bei welchen Krankheitsbildern der Einsatz dieser Technik im klinischen und prähospitalen Umfeld indiziert ist. Der Fokus liegt hierbei auf traumatischen Verletzungen mit einer nichtkomprimierbaren Blutungen wie zum Beispiel Verletzungen der parenchymatösen Viszeralorgane oder Beckenfrakturen. Durch REBOA könnte die hämodynamische Situation der Patienten mit diesen Verletzungen stabilisiert und gleichzeitig die potenzielle aktive Blutung distal des eingebrachten Ballons reduziert werden. Neben der Erläuterung der Technik soll auf mögliche Komplikationen hingewiesen und abschließend die Frage diskutiert werden, ob REBOA in der Notfallmedizin benötigt wird oder nicht.

Historie der aortalen Ballon-Okklusion

Der Einsatz eines Ballons zur Verhinderung des hypovolämen Schocks ist nicht neu. Die Technik der Ballon-Okklusion geht auf Beschreibungen aus dem Koreakrieg in den 1950er Jahren zurück [7]. Nach Entwicklung der intraaortalen Ballon-Pumpe (IABP) durch Kantrowitz in den 1960er-Jahren wurde diese 1968 zum ersten Mal im klinischen Einsatz zur

Aufrechterhaltung der Koronarperfusion und damit zum Erhalt der kardialen Pumpfunktion durch Herzchirurgen offen-chirurgisch eingesetzt [6]. Bis heute ist die IABP die am häufigsten eingesetzte mechanische Form der Herz-Kreislauf-Unterstützung mit mehr als 50.000 Implantationen weltweit [6]. Durch die Verkleinerung der Systeme sowie die Einführung eines perkutan verwendbaren Systems (1979) konnte die Anwendung auf die Kardiologie ausgedehnt werden [8]. In den späten 1960er Jahren wurde der Einsatz intraaortaler Ballone durch die Entwicklung der endovaskulären Aorten-chirurgie auch von speziell ausgebildeten Gefäßchirurgen in den klinischen Alltag integriert [9, 10]. Heute nimmt die aortale Ballon-Okklusion bei der Behandlung des rupturierten Aortenaneurysmas im Operationssaal eine bedeutende Rolle zur Aufrechterhaltung der Herz-Kreislauf-Funktion ein [11, 12].

Während REBOA im klinisch-operativen Alltag von Gefäßchirurgen mittlerweile Routine ist, wird diese Technik bei der Versorgung polytraumatisierter Patienten momentan v. a. in USA, Japan und Großbritannien als Alternative zur Thorakotomie und offen-chirurgischen Aortenklammung eingesetzt. Bisher ist die Möglichkeit der aortalen Ballon-Okklusion hauptsächlich durch die großlumigen Schleusen limitiert. Veränderte Devices mit integrierter Druckmessung und kleinerem Durchmesser ver-

Tab. 1 Auswahl publizierter Fallserien über die Anwendung von REBOA bei traumatisierten Patienten

| Autoren | Anzahl der Patienten (n) | Überleben (%) | Komplikationen durch das REBOA-Manöver (%) | Zugang |
|---------------------|--------------------------|---------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Brenner et al. [30] | 6 | 67 | 0 | Freilegung: 50 % Perkutan: 50 % |
| Moore et al. [31] | 24 | 38 | 0 | n. b. |
| Norii et al. [32] | 452 | 24 | n. b. | n. b. |
| Saito et al. [33] | 24 | 70 | 13 | n. b. |
| Abe et al. [34] | 607 | 33 | n. b. | n. b. |
| DuBose et al. [35] | 46 | 28 | 6 | Freilegung: 50 % Perkutan mit US: 11 % Perkutan ohne US: 28 % |
| Moore et al. [36] | 31 | 32 | 0 | n. b. |
| Teeter et al. [37] | 33 | 42 | 0 | Perkutan mit US/ Fluoroskopie: 100 % |

n. b. nicht berichtet, US Ultraschall

sprechen eine vereinfachte Anwendbarkeit und möglicherweise eine Erweiterung des Behandlungsspektrums.

REBOA bei der Schockraumversorgung traumatisierter Patienten

Der hämorrhagische Schock ist die führende Todesursache nach Trauma. Während Blutungen an den Extremitäten meist mittels Kompression oder durch den Einsatz von Hämostyptika gut versorgt werden können, sind Blutungen des Körperstamms, sei es im Thorax-, Abdomen- oder Beckenbereich, durch konservative Maßnahmen kaum zu kontrollieren und führen in ca. 45 % der Fälle zum Tod [14]. In diesen Fällen stellt, neben den sonstigen Maßnahmen der „Damage Control Resuscitation“, eine Okklusion der Aorta einen möglichen Therapieansatz dar. Hierdurch wird die Blutung durch Reduktion des arteriellen Zustroms verringert, die Nachlast steigt und die kardiale und zerebrale Perfusion werden verbessert. Klassischerweise erfolgt die Okklusion der Aorta in diesen Fällen mittels Notfallthorakotomie und Klemmung der Aorta thoracica descendens. Dieser Eingriff ist jedoch hoch invasiv und technisch anspruchsvoll.

Die Überlebensraten nach Notfallthorakotomie liegen bei unter 10 % [15]. Dabei ist unklar, ob dieses schlechte Ergeb-

nis auf das zugrunde liegende Trauma, auf die Invasivität der Notfallthorakotomie selbst oder aber darauf zurückzuführen ist, dass die Indikationsstellung aufgrund der Komplexität und Invasivität des Eingriffs erst als Ultima Ratio bei drohendem oder bereits eingetretenem Herzstillstand und somit möglicherweise zu spät erfolgt.

» Nichtkomprimierbare Blutungen des Körperstamms sind eine der Haupttodesursachen traumatisierter Patienten

Die endovaskuläre Blockade der Aorta stellt eine mögliche Therapiealternative zur Notfallthorakotomie dar. Seit der Erstbeschreibung dieser Technik durch das amerikanische Militär im Rahmen des Koreakriegs [7] hat sich die endovaskuläre Therapie traumatischer Gefäßverletzungen stark weiterentwickelt [16, 17]. Als Beispiel hierfür ist unter anderem die Embolisation von Blutungen nach Beckenfraktur zu nennen, die die offene Operation in vielen Fällen abgelöst hat [18]. Bei rupturierten abdominalen Aortenaneurysmen (rAAA) stellt die endovaskuläre Therapie inzwischen ein Standardverfahren dar und ist an vielen Krankenhäusern dauerhaft verfügbar. Im Rahmen dieser Eingriffe verbessert eine

zeitweise Ballon-Blockade bis zur Ausschaltung des rAAA die Prognose der Patienten [19].

Die Vorteile der endovaskulären Ballon-Blockade der Aorta bei polytraumatisierten Patienten mit Blutung im Bereich des Beckens oder des Abdomens liegen auf der Hand. Der Eingriff ist in Bezug auf das Zugangs-trauma minimalinvasiv und die Eröffnung einer zusätzlicher Körperhöhlen nicht notwendig.

REBOA im militärischen Bereich

Seit über 15 Jahren beteiligen sich Streitkräfte der NATO an fortgesetzten Kampfhandlungen weltweit. Dies hat zu über 7000 gefallenen und über 50.000 verwundeten NATO-Soldaten geführt, was eine intensive Aufarbeitung der Verwundungen und Todesfälle ausgelöst hat [1, 20]. Nahezu 25 % aller Todesfälle konnten als potenziell überlebbar identifiziert werden, wovon über 90 % durch eine Hämorrhagie bedingt waren. Die Verletzungen waren zu über 66 % am Körperstamm, zu 20 % in der sog. junktionalen Zone (Leiste, Axilla, Hals) und lediglich in 13 % an den Extremitäten lokalisiert. In einer retrospektiven Aufarbeitung der Todesfälle der U.S. Streitkräfte von 2001 bis 2011 verstarben fast 90 % der 4596 gefallenen Soldaten vor Erreichen einer medizinischen Behandlungseinrichtung. Ursächlich waren dabei neben dem Verletzungsmuster eine nicht vorhandene Blutungskontrolle sowie lange Transportzeiten im Einsatzgebiet [1].

Mit der Zielsetzung, eine temporäre, möglichst bereits prähospital durchführbare Möglichkeit zur temporären Blutungskontrolle zu besitzen, wurden verschiedene Forschungsvorhaben etabliert. Dies beinhaltete auch die Reevaluation des REBOA-Verfahrens im militärischen Bereich.

Primär kann mittels REBOA, gleich wie im zivilen Bereich, die Exsanguination Kriegsverletzter verzögert werden, sofern die Blutungsquelle distal des Ballons lokalisiert ist. Dies schließt thorakale Verletzungen weitestgehend aus, würde aber trotzdem noch auf 18 % aller relevant verwundeten Soldaten zutreffen [21]. Die vielversprechenden Ergebnisse zu REBOA aus tierexperimentellen

Studien und klinischen Fallserien (siehe „Evidenz zu REBOA bei traumatischen Gefäßverletzungen“) haben dazu geführt, dass sowohl die amerikanischen als auch die deutschen Streitkräfte dieses Verfahren und das notwendige Material im Heimat- und Einsatzland eingeführt haben [22]. Das im deutschen Sanitätsdienst derzeit übliche einschirurgische Prinzip des „fighting as single surgeon“ verlangt nach einem Allgemeinchirurgen, der in der Lage ist, die gängigen traumatologischen und chirurgischen Notfälle auf sich allein gestellt zu beherrschen. Neben einer breit angelegten allgemeinchirurgischen Ausbildung mit Rotationen in alle chirurgischen Fachgebiete wird die einsatzspezifische Ausbildung durch mehrere Kurse inklusive zwei gefäßchirurgischen Kursen an lebensnahen Modellen ergänzt. Im Rahmen dieser Kurse erlernt seit 2015 jeder Einsatzchirurg der Bundeswehr verpflichtend das REBOA-Verfahren.

Vergleichbare Kurse werden in anderen Nationen wie den USA durchgeführt, dazu zählen Kurse wie der BEST-Kurs (BEST Basic Endovascular Skills for Trauma Course) oder der ESTARS-Kurs (ESTARS Endovascular Skills for Trauma and Resuscitative Surgery). In mehreren Untersuchungen konnte dargestellt werden, dass die geschulten Verfahren leicht und schnell unabhängig von der fachlichen Ausrichtung des Militärarztes zu erlernen sind [23, 24].

Evidenz zu REBOA bei traumatischen Gefäßverletzungen

Die Effektivität einer Ballon-Okklusion der Aorta als unterstützendes Verfahren zur Therapie eines traumatisch bedingten hämorrhagischen Schocks konnte in mehreren experimentellen Modellen bewiesen werden [25–27]. Im Tiermodell ist die REBOA der Thorakotomie überlegen. Dies äußert sich in einem geringeren Anstieg des Serum-Laktats, einer geringeren Azidose und einem geringeren Bedarf an Infusionsvolumen und Vasopressoren [26]. Aus physiologischer Sicht werden durch die aortale Ballon-Blockade sowohl die Koronarperfusion und somit auch die kardiale Pumpleistung als auch die zerebrale Perfusion verbessert.

M. Wortmann · K. Elias · S. Zerwes · D. Böckler · A. Hyhlik-Dür

REBOA (Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta). Brauchen wir das wirklich?

Zusammenfassung

Hintergrund. Nichtkomprimierbare Blutungen des Körperstamms stellen eine der Haupttodesursachen traumatisierter Patienten, sowohl im militärischen als auch im zivilen Bereich, dar.

Ziel. Die REBOA-Technik (REBOA Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta), mögliche Einsatzgebiete, potenzielle Komplikationen und die Frage nach der Relevanz im Alltag des Notfallmediziners sollen erläutert werden.

Material und Methode. Beschreibung bisheriger Einsatzgebiete von REBOA, Auswertung der aktuellen Studienlage, Diskussion der praktischen Anwendung.

Ergebnisse. Im Rahmen der „Damage Control“ wird ein über die Leistenarterien eingebrachter Ballon proximal der vermuteten Blutungsquelle in der Aorta platziert, um damit ein Verbluten des Patienten zu verhindern und eine weitere Versorgung durchführen zu können. Die aktuelle Studienlage zeigt,

dass REBOA in den meisten Fällen zu einer Verbesserung des systolischen Blutdrucks sowie des mittleren arteriellen Blutdrucks und zu einer Reduktion der Herzfrequenz führt. Eine Reduktion der blutungsassoziierten Mortalität konnte bislang jedoch noch nicht sicher gezeigt werden.

Schlussfolgerungen. Aufgrund der möglichen Komplikationen während und nach der REBOA-Prozedur ist eine gefäßchirurgische Expertise unabdingbar. Zudem sind wegen der geringen Fallzahlen sowohl anfängliche Schulungen als auch regelmäßige Übungen notwendig. Dennoch stellt REBOA eine potenziell lebensrettende Sofortmaßnahme dar, die als solche im Portfolio von Traumazentren vorgehalten werden sollte.

Schlüsselwörter

REBOA · „Damage Control Resuscitation“ · Nichtkomprimierbare Blutung · Ballon-Okklusion Aorta · Blutung Aorta

REBOA (Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta). Do we really need it?

Abstract

Background. Non-compressible torso hemorrhage (NCTH) continues to be one of the major causes of death, both in military and civilian trauma patients.

Objective. Explanation of the REBOA (Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta) technique, potential fields of application, potential complications, relevance in daily emergency medicine.

Material and method. Description of previous areas of REBOA application, evaluation of current trauma surgical literature, discussion regarding the practical utilization.

Results. During the REBOA procedure, a transfemoral balloon catheter is placed into the aorta to establish inflow control and maintain blood pressure until permanent hemostasis is achieved. The current trauma surgical literature shows that REBOA is

successfully able to improve both the systolic blood pressure and the mean arterial pressure, and reduce the heart rate in most of the cases. However, there is still no valid evidence for a reduction in hemorrhage-associated mortality.

Conclusions. Due to potential vascular complications of REBOA, endovascular expertise is indispensable; in addition, given the small numbers of cases, both the initial and continued training are important. Nevertheless, REBOA represents a potentially life-saving tool that should be part of the armamentarium of any large trauma center.

Keywords

REBOA · „Damage Control Resuscitation“ · Non-compressible hemorrhage · Balloon-occlusion aorta · Aortic bleeding

Klinisch spiegelt sich dies sowohl in einem Anstieg des systolischen Blutdrucks sowie des mittleren arteriellen Druckes (MAD) und in einer Reduktion der Herzfrequenz wieder [26–28].

Die erste Fallserie über den klinischen Einsatz von REBOA stammt aus dem Jahr 1986 [29] und beschreibt eine Überlebensrate von 13 % bei 15 eingeschlossenen Traumapatienten. Die Evidenz für den klinischen Einsatz von REBOA

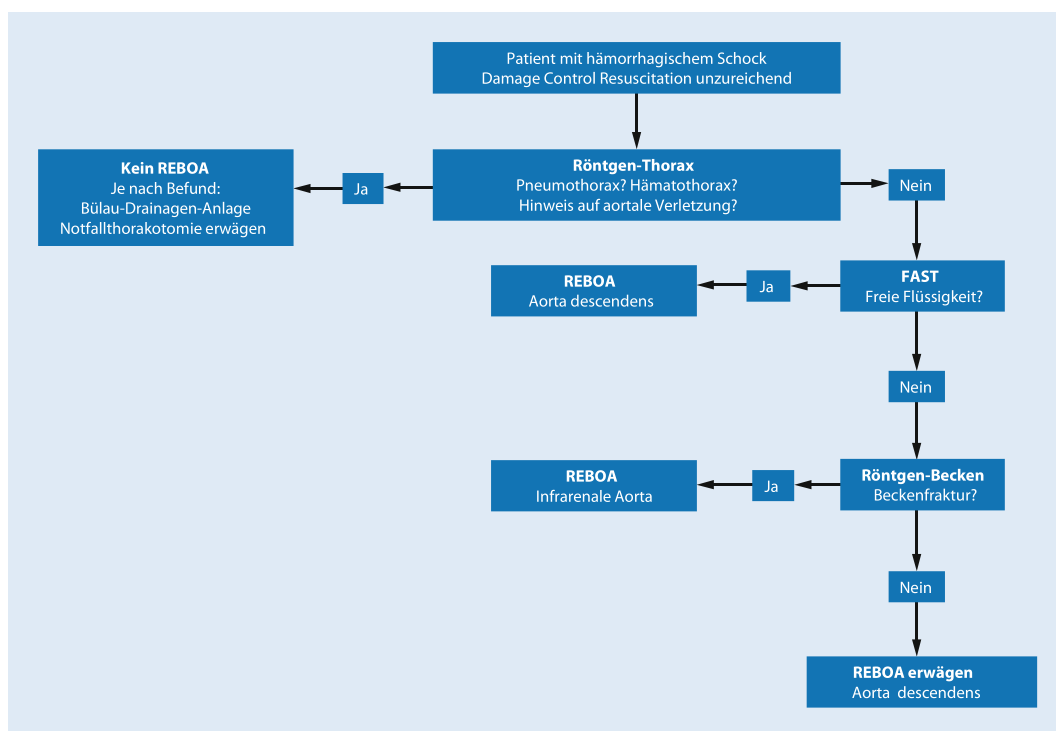


Abb. 1 ◀ Möglicher Algorithmus zum Einsatz von REBOA bei polytraumatisierten Patienten mit hämorrhagischem Schock im Schockraum. FAST Focused Assessment with Sonography for Trauma

bei traumatisierten Patienten stützt sich v. a. auf Fallserien und wenige Fall-Kontroll-Studien aus Japan, Großbritannien und den USA. Einen Überblick über einige bislang publizierte Fallserien gibt **Tab. 1**.

In einem systematischen Review unter Einschluss von 857 Patienten aus 41 publizierten Arbeiten über den Einsatz von REBOA bei unterschiedlichen Indikationen (Trauma, rAAA, gastrointestinalen Blutungen und Operationen im Beckenbereich) konnte zwar durch die aortale Ballon-Blockade ein Anstieg des systolischen Blutdrucks um mehr als 50 mm Hg nachgewiesen werden. Dies führte jedoch zu keiner Reduktion der Mortalität [38]. Abe et al. konnten jedoch in einer retrospektiven Analyse des nationalen Traumaregisters in Japan einen Überlebensvorteil für die Patienten mit REBOA im Vergleich zu den Patienten mit einer offenen chirurgischen Aortenklammern zeigen (Überlebenswahrscheinlichkeit bei REBOA $0,43 \pm 0,36$ vs. $0,27 \pm 0,3$ bei Notfallthorakotomie; $p < 0,01$; [34]). Im Gegensatz dazu war REBOA in einer mittels Propensity-Score-Methode durchgeführten Fall-Kontroll-Studie sogar mit einer erhöhten Letalität assoziiert. Es ist jedoch

nicht auszuschließen, dass dieses negative Ergebnis durch die Verwendung des REBOA-Manövers bei Patienten mit infauster Prognose zustande kommt [32]. In der durch die Association for Surgery of Trauma in den USA durchgeführte Registerstudie AORTA („Aortic Occlusion for Resuscitation in Trauma and Acute Care Surgery“) wurden 114 Patienten mit einer Indikation zu einer Okklusion der Aorta prospektiv erfasst, von denen 68 eine Notfallthorakotomie und 46 REBOA erhielten. In 67 % der Fälle verbesserte sich die hämodynamische Situation des Patienten durch REBOA. Die Komplikationsrate lag bei 6 %, wobei keine Major-Komplikation auftrat. In Bezug auf die Mortalität gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Verfahren bei einer reduzierten pulmonalen Komplikationsrate in der REBOA Gruppe [35].

» REBOA führt in den meisten Fällen zu einer Verbesserung des systolischen Blutdrucks

Die aktuelle Studienlage zeigt, dass REBOA in den meisten Fällen zu einer Verbesserung des systolischen Blut-

druckes und einer hämodynamischen Stabilisierung führt. Eine Reduktion der Blutungs-assoziierten Mortalität konnte bislang noch nicht sicher gezeigt werden.

Ungeklärt und perspektivisch insbesondere für den prähospitalen Einsatz wichtig ist die Dauer der tolerablen Ischämie distal des Okklusionspunkts sowie die Problematik der supraphysiologischen Perfusionsdrücke zentral der Okklusion. Tierexperimentelle Untersuchungen geben Hinweise, dass Okklusionszeiten supramesenterial von bis 60 min ohne Überlebensnachteil möglich sind. Valide klinische Daten liegen dazu noch nicht vor [30]. Um die Dauer der maximal tolerablen Aortenokklusion zu verlängern, werden Untersuchungen bezüglich „partial REBOA“ (p-REBOA) mit einer partiellen Inflation eines Okklusionskatheters und einer permissiven Restperfusion durchgeführt. Dadurch könnte die zentrale Hyperperfusion reduziert und die periphere Ischämietoleranz verlängert werden. Zu dieser Einsatzmöglichkeit liegen Fallberichte sowie tierexperimentelle Untersuchungen vor, die positive Ergebnisse zeigen. Die Steuerung dieser partiellen Okklusion ist aufgrund einer Vielzahl variabler Komponenten wie veränderter Blut-

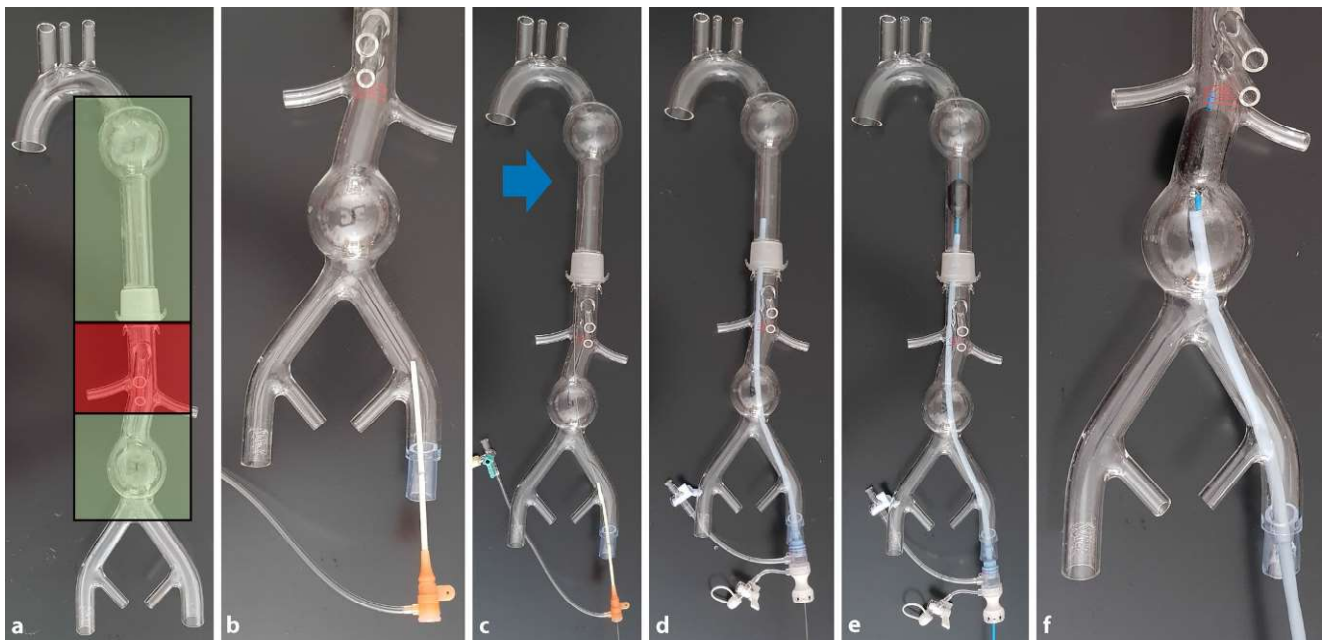


Abb. 2 ▲ Einzelschritte des REBOA-Manövers. **a** Eine Ballon-Blockade sollte lediglich im Bereich der Aorta thoracica descendens oder der infrarenalen Aorta durchgeföhrt werden (*grüne Bereiche*). Das Viszeralsegment (*roter Bereich*) sollte ausgespart werden. **b** Einbringen einer kurzen Schleuse (ca. 6 Fr) via Punktion oder offen chirurgischer Freilegung der A. femoralis communis in der Leiste. **c** Platzieren eines steifen Föhrungsdrahts (*Pfeil*) in der proximalen Aorta descendens. Die Länge des Drahts wird vorher durch Auflegen auf den Torso abgeschätzt. **d** Über den einliegenden Föhrungsdraht wird die kurze Schleuse entfernt und eine lange Schleuse (z. B. 12 Fr, 30 cm) eingewechselt. **e, f** Einbringen des Ballons und Inflation in der Aorta thoracica descendens (**e**) oder in der infrarenalen Aorta (**f**). Vor dem Einbringen des Ballons wird die entsprechende Länge durch Auflegen auf den Torso bestimmt

drucksituation, Gefäßtonus, Cardiac Output und Volumenstatus jedoch sehr schwierig und variabel [39].

Indikation zur innerklinischen Verwendung von REBOA

Die am weitesten verbreitete Indikation für REBOA ist ein posttraumatischer, therapierefraktärer, hämorrhagischer Schock aufgrund einer gesicherten oder vermuteten, nichtkomprimierbaren Blutung im Bereich des Abdomens oder des Beckens. Dies schließt sowohl stumpfe als auch penetrierende Traumata ein [31]. Eine thorakale Verletzung sollte vorrangig mit einer Thorakotomie angegangen werden, da hier die direkte Möglichkeit zur Beseitigung der Blutungsursache besteht und stellt somit in den meisten Fällen eine Kontraindikation für REBOA dar [31, 40]. Ungefähr 1 % aller Traumapatienten könnten somit von REBOA profitieren [32, 34]. In Deutschland ist im Durchschnitt pro Jahr von 2 Patienten mit einer Indikation zum Einsatz von REBOA in einem

überregionalen Traumazentrum auszugehen (Kulla, Elias et al., Auswertung des TraumaRegister DGU 2016, vorläufige Daten).

Auch bei Patienten, die aufgrund des hämorrhagischen Schocks reanimationspflichtig werden, kann in Abhängigkeit von der Zeitdauer der Reanimation und des Traumas der Einsatz von REBOA evaluiert werden, da dies in 60 % der Fälle zu ROSC („return of spontaneous circulation“) föhrt, wobei die Mortalität aber mit ca. 90 % weiterhin extrem hoch ist [36].

In **Abb. 1** ist ein möglicher Algorithmus zur Anwendung von REBOA bei der Versorgung polytraumatisierter Patienten gezeigt, der anhand bereits publizierter Algorithmen aus den USA [36, 41] und der Leitlinie „Resuscitative Endovascular Balloon Occlusion of the Aorta (REBOA) for Hemorrhagic Shock“ des Joint Theater Trauma System [22] zusammengestellt wurde.

Über den Einsatz eines aortalen Blockballons bei der Versorgung rupturierter Aortenaneurysmen wurde bereits mehr-

fach gesprochen. Die temporäre Okklusion der Aorta im Rahmen der endovaskulären Therapie des rAAA wurde im Jahr 2005 erstmalig beschrieben [42] und wird seitdem in vielen Aortenzentren routinemäßig eingesetzt. Eine detaillierte Beschreibung, wann und wie ein Okklusionsballon in der Aorta – zumindest aus gefäßchirurgischer Sicht – Sinn macht, wurde vom Erstbeschreiber dieser Technik publiziert [43]. Innerklinisch kann REBOA zudem als additives Verfahren zur Blutungskontrolle beim Management gynäkologischer Blutungen [44], rupturierter Viszeralarterienaneurysmen [45] oder von Nachblutungen nach viszeralkirurgischen Eingriffen [46] angewandt werden.

Auch der Einsatz von REBOA im Rahmen der Reanimation bei nichttraumatisch bedingten Herz-Kreislauf-Stillständen wird momentan diskutiert [5]. In diesen Fällen könnte REBOA theoretisch ebenfalls zur Verbesserung der kardialen und zerebralen Perfusion während der laufenden kardiopulmonalen Reanimation föhren und somit zu einer Verbes-

Tab. 2 Beispielliste der notwendigen Materialien für REBOA

| | |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Endovaskuläres Material | Punktionsnadel (19 G) |
| | Steifer Führungsdraht (0,035 in, 260 cm) |
| | Kurze Zugangsschleuse (6 French, 10 cm) |
| | Arbeitsschleuse (12–14 French, 30–60 m) |
| | Blockballon |
| Technische Ausstattung | Kontrastmittel |
| | Ultraschallgerät |
| Zusätzliches Material | Röntgengerät |
| | Sterile Abdeckung und steriles Wäschepacket, Skalpell, Steriler Einmalsperrer, chirurgisches Wundversorgungsset, Kontrastmittel, sterile 0,9 % NaCl Lösung, 10 ml Spritze, 2 × 20 ml Spritze, steriler Bezug für Schallkopf, Annaht, steriler Verband, Kompressen |

serung der Behandlungsergebnisse und zu einer Reduktion der neurologischen Spätschäden beitragen. Auch wenn bereits in mehreren Tiermodellen ein positiver Effekt der aortalen Ballon-Okklusion in diesem Kontext gezeigt werden konnten [5], existieren bislang nur Einzelfallberichte über den klinischen Einsatz dieser Technik während einer Reanimation aufgrund eines nicht-traumatischen Herz-Kreislauf-Stillstands [47]. Die Indikationsstellung von REBOA sollte in diesen Fällen also momentan sehr zurückhaltend gestellt werden.

Prähospitaler Einsatz von REBOA

Die London Air Ambulance setzt REBOA seit mehreren Jahren auch prähospital, v. a. bei Beckenfrakturen, ein. Hierbei wird eine modifizierte REBOA-Technik mittels eines Embolektomiekatheters ohne Drahtführung verwendet, der in der Aorta inflatiert und dann bis zur Aortenbifurkation zurückgezogen wird [48]. Trotz dieser vielversprechenden Einzelfallberichte kann REBOA aufgrund der aktuellen Ausbildungssituation und Struktur der zivilen Notfallversorgung in Deutschland momentan nicht für den prähospitalen Einsatz empfohlen werden.

Technik

In den meisten Arbeiten erfolgt eine duplexsonographisch gesteuerte Punktion der A. femoralis communis als Gefäßzugang. Bedingt durch die schlechte Kreislaufsituation der Patienten ist jedoch in

ca. 50 % aller Fälle eine offen-chirurgische Freilegung des Gefäßes notwendig [30, 31, 41]. Eine Punktion der A. femoralis communis nach anatomischen Landmarken und unter palpatorischer Kontrolle sollte nur im Ausnahmefall durchgeführt werden, da hierdurch das Risiko für Zugangskomplikationen wie Blutungen oder Verletzung des Gefäßes steigt [33].

» Aufgrund des schlechten Blutdrucks ist eine perkutane Punktion oftmals nicht sicher möglich

Eine chirurgische Freilegung ist in vielen Fällen notwendig, da aufgrund des niedrigen Blutdrucks und einer möglichen Gefäßspastik eine perkutane Punktion selbst mit Hilfe von Ultraschall nicht immer sicher möglich ist.

Anschließend wird eine Schleuse mit geringem Durchmesser (z. B. 6 Fr) eingebracht, über die ein Führungsdraht in der proximalen thorakalen Aorta descendens platziert wird. Über den liegenden Führungsdraht wird eine größere Schleuse mit geeignetem Durchmesser für den Blockballon eingewechselt (12–14 Fr). Da die bislang gängigen und in Deutschland erhältlichen Ballon-Katheter für die Verwendung bei endovaskulären Gefäßeingriffen unter Durchleuchtung konzipiert sind und deswegen keine äußere Längenmarkierung besitzen, muss durch Auflegen des Katheters auf die Bauchwand die gewünschte Länge bestimmt und am Schaft

des Ballon-Katheters markiert werden. Bei pelvinen Blutungen ist eine Positionierung auf Höhe der infrarenalen Aorta indiziert. Hierzu wird der Abstand von Punktionsstelle bis unmittelbar oberhalb des Umbilicus als Maß genommen. Bei abdominalen Blutungen ist die Aorta thoracica descendens das Zielgefäß. Die Länge wird hierzu mittels des Abstands zwischen der Punktionsstelle und der Mitte des Sternums abgeschätzt [49]. Bei Männern betragen diese Maße ca. 23 bzw. 43 cm [50]. Eine Inflation des Ballons auf Höhe der Viszeralarterien zwischen Abgang des Truncus coeliacus und der Nierenarterien wird aufgrund des erhöhten Risikos für eine viszerale Ischämie nicht empfohlen. Der Ballon-Katheter wird anschließend mittels Seldinger-Technik eingebracht und bis zur Längenmarkierung vorgeschoben. Die Inflation erfolgt bis zum spürbaren Wandkontakt. In diesem Moment sollte zentral ein merklicher Blutdruckanstieg messbar sein.

Eine Übersicht über die einzelnen Schritte gibt [Abb. 2](#).

Sowohl der Ballon selbst als auch die Schleuse müssen gegen eine mögliche Dislokation geschützt werden, da insbesondere der Ballon bei steigendem arteriellem Blutdruck durch die Pulsweite nach distal gedrückt wird. Aufgrund der möglichen katastrophalen Folgen einer Dislokation der Schleuse und des Ballons wird zusätzlich zu einer Fixierung die kontinuierliche Kontrolle durch einen endovaskulär geschulten Arzt empfohlen [41].

Die notwendige Zeitdauer für die komplette REBOA-Prozedur liegt in publizierten Serien zwischen wenigen Minuten unter Simulationsbedingungen bis zu 20 min unter realen Bedingungen [31, 33].

Nach der ersten operativen Versorgung im Sinne der „damage control surgery“ und der hämodynamischen Stabilisierung des Patienten wird der Ballon in enger Absprache mit den Kollegen der Anästhesie unter kontinuierlicher Kontrolle der Kreislaufsituation durch einen endovaskulär geschulten Arzt langsam deflatiert. Abhängig von der Dauer und Positionierung des Blockballons kann es durch die Reperfusion der Viszeralorga-

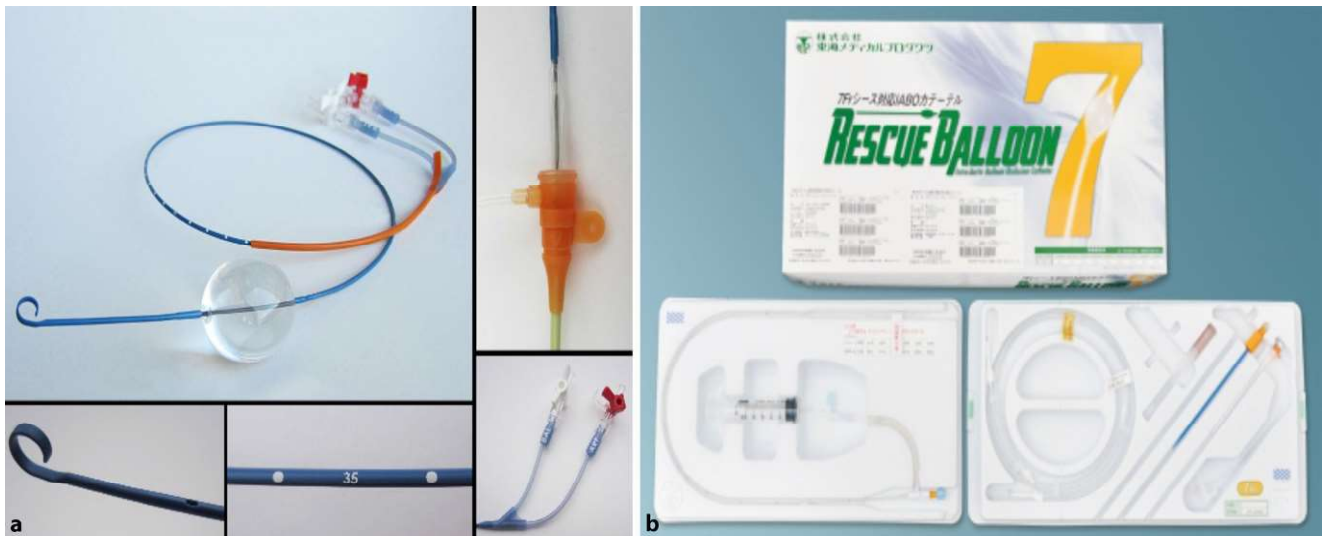


Abb. 3 ▲ Spezielle REBOA Katheter. (Mit freundl. Genehmigung Prytime Medical (a) und Tokai Medical (b))

ne und der unteren Extremitäten zu einem Einschwemmen reaktiver Metabolite im Sinne des Reperfusionssyndroms kommen. Dies kann eine zeitweise erneute Ballon-Blockade zur Aufrechterhaltung eines suffizienten Blutdrucks notwendig machen. Zudem kann es nach Deflation des Ballons erneut zu Blutungen kommen, die einer chirurgischen Versorgung bedürfen. Ob in diesem Kontext eine intermittierende Deflation des Ballon-Katheters oder eine partielle Inflation mit permissiver Restperfusion zur Verbesserung der Organperfusion während der Ballon-Blockade einen protektiven Einfluss hat, muss weiter evaluiert werden [13, 51].

Sobald der Ballon-Katheter nicht mehr benötigt wird, sollte dieser entfernt werden. Die einliegende Schleuse muss aufgrund des großen Außendurchmessers chirurgisch entfernt werden.

Material

Die wohl am weitesten verbreiteten und in Deutschland verfügbaren Katheter zur endovaskulären Blockade der Aorta sind der Coda-Ballon der Firma Cook (Cook Medical, Indiana, USA) und der Reliant-Ballon der Firma Medtronic (Medtronic Vascular, Kalifornien, USA). Beide Katheter sind primär für den Einsatz bei endovaskulären Eingriffen an der Aorta gedacht, sind aber auch für die Blockade großer arterieller Gefäße zugelassen. Sie

benötigen einen Führungsdraht zur Positionierung sowie eine 12-Fr- (Reliant-Ballon) bzw. eine 14-Fr-Schleuse (Coda-Ballon) als Zugangsweg. Eine Übersicht über das gesamte Material, das zur Durchführung eines REBOA-Manövers notwendig ist, gibt **Tab. 2**.

Neue Devices für REBOA

Die Firma Prytime Medical Devices (Colorado, USA) bietet in Amerika einen speziellen REBOA-Katheter an, der inzwischen in über 80 Traumazentren verwendet wird. Der ER-REBOA-Katheter kann ohne Drahtführung positioniert werden und benötigt nur eine 7-Fr-Zugangsschleuse (**Abb. 3a**). Im Vergleich zur Verwendung der bisher gängigen Blockballons, die eine 12-Fr-Schleuse und einen Führungsdraht benötigen, ist somit sowohl das Zugangstrauma geringer als auch das Risiko einer akzidentellen Gefäßverletzung durch den Einsatz des Führungsdrahts obsolet. Zusätzlicher Vorteil sind die Längenmarkierungen auf dem Schaft des Ballons, die die korrekte Positionierung und die Lagekontrolle des in situ befindlichen Ballons vereinfachen. Der Katheter ist durch die FDA (Food and Drug Administration) in den USA zugelassen. Eine Einführung dieses Devices ist laut Angaben des Herstellers auf dem europäischen Markt für 2018 geplant. In Japan steht mit dem *Rescue Balloon* der Firma To-

kai Medical Products (Senko Medical Instrument, Tokyo, Japan) ebenfalls ein Ballon-Katheter zur Verfügung, der über eine 7-Fr-Schleuse platziert werden kann (**Abb. 3b**).

Speziell für REBOA entwickelte Katheter könnten in Zukunft die Durchführung deutlich erleichtern.

Komplikationen und Komplikationsmanagement

REBOA stellt lediglich ein überbrückendes und unterstützendes Verfahren dar und ersetzt somit nicht die definitive Versorgung. Bei Patienten mit starken abdominalen Blutungen führt jede Verzögerung bis zum Beginn der Laparotomie zu einem Anstieg der Mortalität um 1 % [52], so dass bei der Implementierung von REBOA darauf geachtet werden sollte, dass die definitive chirurgische Versorgung nicht verzögert wird. Weitere mögliche Komplikationen sind in **Tab. 3** zusammengefasst.

Im Rahmen der explorativen Laparotomie sollte, nach Versorgung der traumabedingten Blutungen und Organverletzungen, der in der Aorta einliegende Ballon deflatiert und weitere Blutungsquellen sorgfältig ausgeschlossen werden. Zudem besteht die Möglichkeit zur Kontrolle der Organperfusion sowie der Ausschluss thrombembolischer Komplikationen der Viszeralgefäße. Mögliche schwerwiegende Komplikationen des

Tab. 3 Mögliche Komplikationen durch REBOA

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Zugangskomplikationen</i> |
| Verletzung des Zugangsgefäßes (Perforation, Blutung, Dissektion) |
| Thrombotischer Verschluss der Zugangsgefäße |
| Embolie der Beingefäße |
| Kritische Extremitätenischämie |
| Wundinfektion/Wundheilungsstörung |
| <i>Komplikationen durch den Führungsdraht</i> |
| Perforation |
| Dissektion |
| Drahtfehlhage |
| Organverletzung |
| Schlaganfall |
| <i>Komplikationen durch den Ballon-Katheter</i> |
| Perforation der Aorta |
| Dissektion der Aorta |
| Perforation der Viszeral-/Beckengefäße bei Fehllage |
| Thrombotischer/thrombembolischer Verschluss der Viszeral-, Becken- und Beingefäße |
| Perforation der V. cava inferior bei venöser Fehllage |

REBOA-Verfahrens können somit direkt ausgeschlossen bzw. behoben werden.

Im Rahmen der operativen Entfernung der Schleuse aus der Leistenarterie ist die Evaluierung der Perfusionssituation beider Beine obligat, damit ein möglicher embolischer oder thrombembolischer Verschluss der Beingefäße erkannt und frühzeitig behandelt werden kann. Erfolgt dies nicht konsequent, kann durch eine entsprechende kritische Extremitätenischämie eine Amputation im Verlauf notwendig werden [33]. Für die Platzierung der aktuell verfügbaren Blockballons ist eine großlumige Schleuse notwendig, die wiederum nur über einen steifen Führungsdraht eingebracht werden kann. Da dieser während REBOA blind ohne Röntgenkontrolle vorgeschoben werden muss, besteht hier vor allem das potenzielle Risiko einer Gefäß- oder Organverletzung.

» Aufgrund der Vielzahl an möglichen Komplikationen ist eine gefäßchirurgische Expertise unabdingbar

Die Komplikationsrate in der Literatur beträgt zwischen 0 % und 12 % [33, 35, 37], wobei Zugangskomplikationen im

Vordergrund stehen. Allerdings wurden auch Major-Komplikationen wie Amputationen [33] und iatrogene Verletzungen der Aorta beschrieben [53, 54]. Somit ist eine gefäßchirurgische Expertise an Zentren, die REBOA selbst einsetzen oder Patienten versorgen, die extern eine Ballon-Okklusion in der Notfallsituation erhalten haben, dringend vonnöten.

Training und Schulung von REBOA

Wie bei allen invasiven Notfalltechniken ist eine initiale theoretische und praktische Schulung zur Erlernung notwendig. Nur wenige Fachdisziplinen, wie beispielsweise endovaskulär tätige Gefäßchirurgen oder interventionelle Radiologen, sind prinzipiell mit dem Material und dem Vorgehen von REBOA vertraut und benötigen somit nur eine gezielte Schulung bezüglich des Ablaufs des Manövers und dessen Implementierung in die Abläufe. Sollte der Einsatz von REBOA durch Kollegen anderer Fachdisziplin erwogen werden, besteht der unabdingbare Bedarf einer initialen Schulung, die sowohl grundlegende Eigenschaften des Materials, dessen Verwendung und des REBOA-Manövers sowohl in theoretischer als auch praktischer Form einschließt. Hierfür wurden verschiedene

Modelle entwickelt, angefangen bei virtuellen Simulatoren bis hin zu Tiermodellen oder der Übung an menschlichen Leichen. Jedes dieser Modelle hat entsprechende Vor- und Nachteile [55]. Brenner et al. berichten z. B., dass im Rahmen des Basic Endovascular Skills For Trauma Course auch ärztliche Fachdisziplinen REBOA erlernen können, die keine endovaskuläre Vorerfahrungen haben [23, 24].

Einheitliche Empfehlungen zur Schulung von REBOA existieren aufgrund der bereits mehrfach angesprochenen bislang geringen Evidenzlage nicht.

» Aufgrund der geringen Fallzahl sind sowohl anfängliche Schulungen und regelmäßige Übungen notwendig

Im Rahmen verschiedener Kurse zur Versorgung von traumatisierten Patienten wird REBOA auch in Deutschland geschult. Aufgrund der zu erwartenden niedrigen Fallzahlen [31, 33] sollte nach dem initialen Erlernen der REBOA-Prozedur zudem ein regelmäßiges Auffrischungstraining erwogen werden.

REBOA – brauchen wir das wirklich?

REBOA kann theoretisch bei einem traumatisch bedingten hämorrhagischen Schock aufgrund einer abdominalen oder pelvinen Blutung eine Verbesserung der kardialen und zerebralen Perfusion sowie eine Reduktion der Blutung bewirken. Dies konnte in mehreren Tiermodellen bereits erfolgreich belegt werden. In mehreren klinischen Studien konnte durch REBOA bei der Initialversorgung von Patienten mit einem traumatisch bedingten, hämorrhagischen Schock eine Stabilisierung der Kreislauflage erreicht werden [35]. Ein positiver Einfluss auf das Überleben der Patienten konnte bislang jedoch nicht nachgewiesen werden.

Vor dem Hintergrund der hier beschriebenen technischen und prozeduralen Details ist das Prinzip und Konzept des REBOA-Manövers aus Sicht des –

endovaskulär erfahrenen – Gefäßchirurgen in der Theorie zwar vielversprechend und naheliegend, aber in der Umsetzung und Praxis nicht einfach und potenziell gefährlich. Folgende *Caaveats* sind zu berücksichtigen: Patienten im hämorrhagischen Schock, insbesondere jungen Alters, weisen spastische Gefäße auf, so dass die Punktion zumindest ohne Ultraschall schwierig sein kann. Die Einführung des relativ steifen Ballon-Systems kann durch physiologisch gewinkelte Beckenzugangsgefäße erschwert bis unmöglich sein und ist mit erhöhter Perforationsgefahr verbunden. Nichtsdestotrotz stellt REBOA eine Alternative zur Notfallthorakotomie dar, insbesondere da das Verfahren im direkten Vergleich eine wesentlich geringere Invasivität aufweist und nicht mit einer erhöhten Mortalität einhergeht [35]. Weitere Studien in Bezug auf die Selektion geeigneter Patienten sowie zur generellen Indikationsstellung sind dringend erforderlich, bevor ein routinemäßiger Einsatz dieser Technik empfohlen werden kann.

Aus gefäßchirurgischer Sicht ist REBOA auch ein naheliegendes Konzept, um Patienten im hämorrhagischen Schock bereits am Unfallort zu stabilisieren. Dies wird durch erste Erfahrungsberichte belegt [56]. Auch wenn im militärischen Einsatz REBOA bereits prähospital eingesetzt wird und auch die London Air Ambulance REBOA in einer modifizierten Technik mittels eines Embolektomie-Katheters ohne Drahtführung bei einer geringen Anzahl von Patienten mit traumatischen Beckenverletzungen erfolgreich am Unfallort durchgeführt hat [48], rechtfertigt die aktuelle Evidenzlage einen prähospitalen Einsatz von REBOA im zivilen Bereich aktuell noch nicht.

Ebenso kann der Einsatz von REBOA bei nicht traumatisch bedingten Reanimationssituationen aufgrund der fehlenden Evidenz nicht standardmäßig empfohlen werden, obwohl auch diese Patienten von der Optimierung der kardialen und zerebralen Perfusion durch REBOA profitieren könnten und bereits einzelne Einzelfallberichte diesbezüglich publiziert sind.

Fazit für die Praxis

- REBOA bezeichnet die endovaskuläre Ballon-Blockade der Aorta.
- Durch die Ballon-Blockade soll ein erhöhter zentraler Perfusionsdruck und, im Falle einer Blutung, eine Reduktion des Blutverlusts erreicht werden.
- Im militärischen Bereich und in einigen Ländern auch im zivilen Bereich wird REBOA bereits routinemäßig eingesetzt.
- Die Evidenzlage zu REBOA ist noch gering. Eine Reduktion der Mortalität durch REBOA konnte bislang aber nicht sicher belegt werden.
- Aufgrund der möglichen Komplikationen ist eine gefäßchirurgische Expertise unbedingt erforderlich.
- Neue, speziell für das REBOA-Manöver entwickelte Katheter werden die technische Durchführung der Ballon-Okklusion in Zukunft vereinfachen.
- Der prähospital Einsatz kann derzeit in Deutschland nicht empfohlen werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. A. Hyhlik-Dürr
Klinik für Gefäßchirurgie und endovaskuläre Chirurgie, Klinikum Augsburg
Stenglinstr 2, 86156 Augsburg, Deutschland
Alexander.hyhlik-duerr@klinikum-augsburg.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Wortmann, K. Elias, S. Zerwes, D. Böckler und A. Hyhlik-Dürr geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Eastridge BJ, Mabry RL, Seguin P et al (2012) Death on the battlefield (2001–2011): implications for the future of combat casualty care. *J Trauma Acute Care Surg* 73:S431–S437
2. Stannard A, Morrison JJ, Scott DJ et al (2013) The epidemiology of noncompressible torso hemorrhage in the wars in Iraq and Afghanistan. *J Trauma Acute Care Surg* 74:830–834
3. Kleber C, Giesecke MT, Tsokos M et al (2013) Trauma-related preventable deaths in Berlin 2010: need to change prehospital management

strategies and trauma management education. *World J Surg* 37:1154–1161

4. Perkins ZB, Lendrum RA, Brohi K (2016) Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: promise, practice, and progress? *Curr Opin Crit Care* 22(6):563–571
5. Daley J, Morrison JJ, Sather J et al (2017) The role of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) as an adjunct to ACLS in non-traumatic cardiac arrest. *Am J Emerg Med* 35:731–736
6. Ergle K, Parto P, Krim SR (2016) Percutaneous ventricular assist devices: a novel approach in the management of patients with acute cardiogenic shock. *Ochsner J* 16:243–249
7. Hughes CW (1954) Use of an intra-aortic balloon catheter tamponade for controlling intra-abdominal hemorrhage in man. *Surgery* 36:65–68
8. Phillips SJ, Gordon DF, Iannone L et al (1980) Clinical trial with a percutaneously inserted intra-aortic balloon pump: a wider spectrum of patient application. *Thorac Cardiovasc Surg* 28:197–199
9. Volodos NL, Karpovich IP, Troyan VI et al (1991) Clinical experience of the use of self-fixing synthetic prostheses for remote endoprosthetics of the thoracic and the abdominal aorta and iliac arteries through the femoral artery and as intraoperative endoprosthesis for aorta reconstruction. *Vasa Suppl* 33:93–95
10. Parodi JC, Palmaz JC, Barone HD (1991) Transfemoral intraluminal graft implantation for abdominal aortic aneurysms. *Ann Vasc Surg* 5:491–499
11. Starnes BW, Quiroga E, Hutter C et al (2010) Management of ruptured abdominal aortic aneurysm in the endovascular era. *J Vasc Surg* 51:9–17 (discussion 17–18)
12. Arthurs ZM, Sohn VY, Starnes BW (2007) Ruptured abdominal aortic aneurysms: remote aortic occlusion for the general surgeon. *Surg Clin North Am* 87:1035–1045
13. Johnson MA, Neff LP, Williams TK et al (2016) Partial resuscitative balloon occlusion of the aorta (P-REBOA): clinical technique and rationale. *J Trauma Acute Care Surg* 81:S133–S137
14. Kisaat M, Morrison JJ, Hashmi ZG et al (2013) Epidemiology and outcomes of non-compressible torso hemorrhage. *J Surg Res* 184:414–421
15. Rabinovici R, Bugaev N (2014) Resuscitative thoracotomy: an update. *Scand J Surg* 103:112–119
16. Reuben BC, Whitten MG, Sarfati M et al (2007) Increasing use of endovascular therapy in acute arterial injuries: analysis of the national trauma data bank. *J Vasc Surg* 46:1222–1226
17. Branco BC, Dubose JJ, Zhan LX et al (2014) Trends and outcomes of endovascular therapy in the management of civilian vascular injuries. *J Vasc Surg* 60:1297–1307.e1
18. Scalea TM, Sclafani S (2001) Interventional techniques in vascular trauma. *Surg Clin North Am* 81:1281–1297
19. Assar AN, Zarins CK (2009) Endovascular proximal control of ruptured abdominal aortic aneurysms: the internal aortic clamp. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 50:381–385
20. Defense USDO (2017) <https://www.defense.gov/casualty.pdf>. Zugegriffen: 15. Juni 2017
21. Morrison JJ, Ross JD, Rasmussen TE et al (2014) Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: a gap analysis of severely injured UK combat casualties. *Shock* 41:388–393
22. System JTT (2014) Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) for hemorrhagic shock. *JAMA Surg* 152(11):1072

23. Brenner M, Hoehn M, Pasley J et al (2014) Basic endovascular skills for trauma course: bridging the gap between endovascular techniques and the acute care surgeon. *J Trauma Acute Care Surg* 77:286–291
24. Teeter W, Romagnoli A, Glaser J et al (2017) Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: pushing care forward. *J Spec Oper Med* 17:17–21
25. Morrison JJ, Percival TJ, Markov NP et al (2012) Aortic balloon occlusion is effective in controlling pelvic hemorrhage. *J Surg Res* 177:341–347
26. White JM, Cannon JW, Stannard A et al (2011) Endovascular balloon occlusion of the aorta is superior to resuscitative thoracotomy with aortic clamping in a porcine model of hemorrhagic shock. *Surgery* 150:400–409
27. Dunn EL, Moore EE, Moore JB (1982) Hemodynamic effects of aortic occlusion during hemorrhagic shock. *Ann Emerg Med* 11:238–241
28. Spence PA, Lust RM, Chitwood WR Jr. et al (1990) Transfemoral balloon aortic occlusion during open cardiopulmonary resuscitation improves myocardial and cerebral blood flow. *J Surg Res* 49:217–221
29. Low RB, Longmore W, Rubinstein R et al (1986) Preliminary report on the use of the Percutaneous occluding aortic balloon in human beings. *Ann Emerg Med* 15:1466–1469
30. Brenner ML, Moore LJ, Dubose JJ et al (2013) A clinical series of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for hemorrhage control and resuscitation. *J Trauma Acute Care Surg* 75:506–511
31. Moore LJ, Brenner M, Kozar RA et al (2015) Implementation of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta as an alternative to resuscitative thoracotomy for noncompressible truncal hemorrhage. *J Trauma Acute Care Surg* 79:523–530 (discussion 530–522)
32. Norii T, Crandall C, Terasaka Y (2015) Survival of severe blunt trauma patients treated with resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta compared with propensity score-adjusted untreated patients. *J Trauma Acute Care Surg* 78:721–728
33. Saito N, Matsumoto H, Yagi T et al (2015) Evaluation of the safety and feasibility of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta. *J Trauma Acute Care Surg* 78:897–903 (discussion 904)
34. Abe T, Uchida M, Nagata I et al (2016) Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta versus aortic cross clamping among patients with critical trauma: a nationwide cohort study in Japan. *Crit Care* 20:400
35. Dubose JJ, Scalea TM, Brenner M et al (2016) The AAST prospective aortic occlusion for resuscitation in trauma and acute care surgery (AORTA) registry: data on contemporary utilization and outcomes of aortic occlusion and resuscitative balloon occlusion of the aorta (REBOA). *J Trauma Acute Care Surg* 81:409–419
36. Moore LJ, Martin CD, Harvin JA et al (2016) Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta for control of noncompressible truncal hemorrhage in the abdomen and pelvis. *Am J Surg* 212:1222–1230
37. Teeter WA, Matsumoto J, Idoguchi K et al (2016) Smaller introducer sheaths for REBOA may be associated with fewer complications. *J Trauma Acute Care Surg* 81:1039–1045
38. Morrison JJ, Galgon RE, Jansen JO et al (2016) A systematic review of the use of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in the management of hemorrhagic shock. *J Trauma Acute Care Surg* 80:324–334
39. Russo RM, Williams TK, Grayson JK et al (2016) Extending the golden hour: partial resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta in a highly lethal swine liver injury model. *J Trauma Acute Care Surg* 80:372–378 (discussion 378–380)
40. Joseph B, Ibraheem K, Haider AA et al (2016) Identifying potential utility of resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: an autopsy study. *J Trauma Acute Care Surg* 81:S128–S132
41. Stannard A, Eliason JL, Rasmussen TE (2011) Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) as an adjunct for hemorrhagic shock. *J Trauma* 71:1869–1872
42. Malina M, Veith F, Ivancev K et al (2005) Balloon occlusion of the aorta during endovascular repair of ruptured abdominal aortic aneurysm. *J Endovasc Ther* 12:556–559
43. Malina M, Holst J (2014) Balloon control for ruptured AAAs: when and when not to use? *J Cardiovasc Surg (Torino)* 55:161–167
44. Panici PB, Anceschi M, Borgia ML et al (2012) Intraoperative aorta balloon occlusion: fertility preservation in patients with placenta previa accreta/increta. *J Matern Fetal Neonatal Med* 25:2512–2516
45. Delamare L, Crognier L, Conil JM et al (2015) Treatment of intra-abdominal hemorrhagic shock by resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA). *Anaesth Crit Care Pain Med* 34:53–55
46. Miura F, Takada T, Ochiai T et al (2006) Aortic occlusion balloon catheter technique is useful for uncontrollable massive intraabdominal bleeding after hepato-pancreato-biliary surgery. *J Gastrointest Surg* 10:519–522
47. Deakin CD, Barron DJ (1996) Hemodynamic effects of descending aortic occlusion during cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 33:49–52
48. Sadek S, Lockey DJ, Lendrum RA et al (2016) Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) in the pre-hospital setting: An additional resuscitation option for uncontrolled catastrophic hemorrhage. *Resuscitation* 107:135–138
49. Okada Y, Narumiya H, Ishi W et al (2017) Anatomical landmarks for safely implementing resuscitative balloon occlusion of the aorta (REBOA) in zone 1 without fluoroscopy. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 25:63
50. Morrison JJ, Stannard A, Midwinter MJ et al (2014) Prospective evaluation of the correlation between torso height and aortic anatomy in respect of a fluoroscopy free aortic balloon occlusion system. *Surgery* 155:1044–1051
51. Napolitano LM (2017) Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: indications, outcomes, and training. *Crit Care Clin* 33:55–70
52. Clarke JR, Trooskin SZ, Doshi PJ et al (2002) Time to laparotomy for intra-abdominal bleeding from trauma does affect survival for delays up to 90 minutes. *J Trauma* 52:420–425
53. Sovik E, Stokkeland P, Storm BS et al (2012) The use of aortic occlusion balloon catheter without fluoroscopy for life-threatening postpartum hemorrhage. *Acta Anaesthesiol Scand* 56:388–393
54. Gupta BK, Khaneja SC, Flores L et al (1989) The role of intra-aortic balloon occlusion in penetrating abdominal trauma. *J Trauma* 29:861–865
55. Keller BA, Salcedo ES, Williams TK et al (2016) Design of a cost-effective, hemodynamically adjustable model for resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta (REBOA) simulation. *J Trauma Acute Care Surg* 81:606–611
56. Sridhar S, Gumbert SD, Stephens C et al (2017) Resuscitative endovascular balloon occlusion of the aorta: principles, initial clinical experience, and considerations for the anesthesiologist. *Anesth Analg* 125(3):884–890