

Klinischer Stellenwert sowie Risiken bei Anwendung und Ausfall einer intraaortalen Ballonpumpe (IABP)

Eine Stellungnahme des wissenschaftlichen Arbeitskreises Kardioanästhesie der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI)*

M. Heringlake¹ · M. Sander² · J. Ender³

Zusammenfassung

Die intraaortale Gegenpulsation mittels eines in die Aorta descendens implantierten Ballonkatheters (IABP) stellt unverändert das weltweit am häufigsten eingesetzte passagere mechanische Kreislaufunterstützungsverfahren dar. Getriggert durch die neutralen Ergebnisse einer Studie beim kardiogenen Schock wird das Device im Gegensatz zu Ländern wie den USA oder Japan aktuell in Deutschland allerdings zugunsten wesentlich invasiverer und komplikationsträchtiger Verfahren wie Impella® oder Extracorporeal Life Support (ECLS) zunehmend seltener eingesetzt. Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über die technischen Grundlagen sowie die aktuelle Datenlage zum Einsatz der IABP beim kardiogenen und Postcardiotomie-Schock, beim präemptiven Einsatz bei herzchirurgischen Risikopatienten sowie zur Entlastung des linken Ventrikels beim Einsatz von ECLS. Zudem werden die Komplikationen und die Risiken bei Einsatz und Ausfall einer intraaortalen Ballonpumpe erläutert. Der Einsatz der IABP ist primär auf Patienten mit noch partiell erhaltener myokardialer Pumpfunktion beschränkt. Systembedingt ist zudem die individuell mit aortaler Gegenpulsation erzielbare Steigerung des Herzzeitvolumens variabel und nicht konkret vorhersehbar, in der Regel jedoch deutlich geringer als mit anderen Unterstützungssystemen.

Die aktuell vorliegenden Daten zeigen aber, dass die IABP im Vergleich zu

anderen Modalitäten ein sehr sicheres und effektives mechanisches Kreislaufunterstützungsverfahren darstellt, auf welches – ohne Nachteile für Patienten in Kauf zu nehmen – auch heute nicht verzichtet werden kann.

Summary

Counterpulsation by means of an intra-aortic balloon pump (IABP) implanted into the descending aorta is still the most frequently used modality of mechanical circulatory support (MCS). Triggered by the neutral results of a study analyzing the effects of IABP treatment during cardiogenic shock, the use of IABPs in Germany has tremendously decreased and they have often been replaced by more invasive mechanical support modalities like Impella® or Extracorporeal Life Support (ECLS). This contrasts sharply with countries like the US or Japan, in which the IABP is still the by far most frequently used MCS modality. The present article aims to give an overview on the technical basics and the current evidence on the use of IABPs in cardiogenic and post-cardiotomy shock as well as on the preemptive use in high risk cardiac surgery and for unloading the left ventricle during ECLS. Additionally, complications and risks during use, and upon technical failure of an IABP are discussed. The use of an IABP is restricted to patients with – at least partially preserved – myocardial function. Additionally, the individual increase in cardiac output that may be obtained by aortic counterpulsation is variable, can

- 1 Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin Herz- und Diabeteszentrum Mecklenburg-Vorpommern – Klinikum Karlsburg
- 2 Klinik für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin und Schmerztherapie Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Standort Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen
- 3 Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin; Herzzentrum Leipzig

* Unterstützt vom wissenschaftlichen Arbeitskreis Intensivmedizin der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI)

Deklaration potenzieller Interessenkonflikte

MH: Vortrags- und Beraterhonorare durch Orion Pharma, AOP Health, Edwards Lifesciences und Medtronic. Delegierter der DGAI für die Überarbeitung der S3-Leitlinie „Einsatz der IABP in der Herzchirurgie“.
MS: Forschungsunterstützung sowie Vortrags- und Beraterhonorare durch Edwards Lifesciences, Orion Pharma, AOP Health, und Medtronic.
JE: Vortragshonorare (an die Klinik) durch Edwards Lifesciences, Abbott und Medela.

Schlüsselwörter

Mechanische Kreislaufunterstützung – Kardiogener Schock – Postcardiotomie-schock – Hochrisiko-Herzchirurgie

Keywords

Mechanical circulatory support – Cardiogenic shock – Post-cardiotomy shock – High-risk cardiac surgery

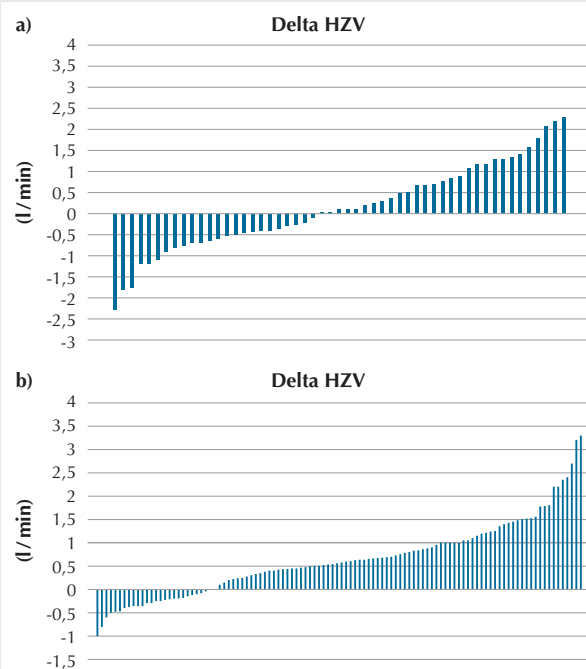
hardly be predicted, and in most situations less pronounced as with other modalities of MCS. Nonetheless, the available data clearly show that the IABP, in contrast to other types of MCS, is a safe and effective mechanical support modality that – also today – cannot be dispensed without adverse effects for patients.

Hintergrund

Die intraaortale Gegenpulsation mittels eines in die Aorta descendens implantierten Ballonkatheters (IABP) stellt das seit längstem klinisch etablierte [1] und mit aktuell fast 180.000 Anwendungen das weltweit bei weitem am häufigsten eingesetzte passagere mechanische Kreislaufunterstützungsverfahren dar. Die Positionierung des mit Helium gefüllten Ballons erfolgt dabei in den meisten Fällen retrograd über eine Punktion der A. femoralis, in den letzten Jahren im Rahmen prolongierter Unterstützung (z. B. zur Stabilisierung vor Herztransplantation) auch über eine Punktion der A. axillaris oder beim intraoperativen Einsatz in einigen Fällen antegrad über eine aufgenähte Gefäßprothese über die A. ascendens [2].

Das Prinzip der Gegenpulsation beruht zum einen auf einer Herzzyklus-getriggerten diastolischen Insufflation des Ballons, die zu einer Verbesserung des mittleren arteriellen Blutdrucks und der Koronarperfusion führt. Zum anderen werden durch aktives Entleeren des Ballons unmittelbar vor Beginn der Ejektionsphase die linksventrikuläre Nachlast und damit der linksventrikuläre enddiastolische Druck sowie der myokardiale Sauerstoffverbrauch reduziert. Voraussetzung ist dabei stets, dass das Herz zumindestens eine Basis- kontraktilität aufweist [2]. Dies führt bei Patienten mit reduzierter linksventrikulärer Pumpfunktion zu einer Steigerung des kardialen Schlagvolumens. Die summarische Antwort als Steigerung des Herzzeitvolumens fällt allerdings je nach Ursache einer kardialen Funktionsstörung unterschiedlich aus und scheint insbesondere bei Patienten mit dekompensierter chronischer Herzin-

Abbildung 1



Effekte des Einsatzes einer intraaortalen Ballonpumpe (IABP) auf das Herzzeitvolumen bei Patienten mit kardiogenem Schock aufgrund eines Myokardinfarktes (a) und aufgrund einer Dekompensation einer chronischen Herzinsuffizienz (b). Adaptiert nach [3].

suffizienz stärker ausgeprägt zu sein als bei Patienten mit kardiogenem Schock aufgrund eines akuten Myokardinfarktes (Abb. 1) [3].

Darüber hinaus kann die IABP nicht nur zur Unterstützung des kardialen Auswurfs unter den Bedingungen einer eingeschränkten myokardialen Pumpfunktion eingesetzt werden, sondern auch zur Induktion von Pulsatilität im Rahmen der EKZ während herzchirurgischer Eingriffe und zur Entlastung des linken Ventrikels unter den Bedingungen von „Extracorporeal Life Support (ECLS)“ [4].

Einsatz der IABP im kardiogenen Schock

Seit Einführung in die klinische Praxis vor mehr als 50 Jahren stellt der kardiogene Schock weltweit betrachtet eine der häufigsten Indikationen zum Einsatz einer IABP dar. Wie viele andere langjährig etablierte Therapiekonzepte wurde der Einsatz der IABP unter dieser Indikation allerdings nur in eher kleineren, oft monozentrischen Studien oder Register- und Observationsstudien evaluiert.

Wegen der neutralen Ergebnisse einer deutschen Studie an annähernd 600 Patienten mit Infarkt-bedingtem kardiogenem Schock [5] erfolgte ab 2012 in den europäischen Expertenempfehlungen zu dieser Thematik eine Abwertung der IABP speziell für diese Indikation; der Einsatz der IABP bei einem kardiogenen Schock anderer Ätiologie wird aber weiterhin, wie auch in US-amerikanischen Expertenstatements, empfohlen [6,7].

Bei näherer Betrachtung zeigt sich zwar, dass die IABP-Shock II-Studie erhebliche methodische und insbesondere statistische Limitationen aufweist [8]. Dennoch lässt sich insbesondere in der deutschen Kardiologie seit Publikation dieser Studie ein deutlicher Trend beobachten, bei kardiogenem Schock weniger IABPs und stattdessen mehr Mikroaxialpumpen wie die Impella® oder extrakorporale veno-arterielle Kreislaufunterstützungsverfahren (ECLS) einzusetzen [9]. Dies ist ein Trend, welcher aufgrund der gegenwärtigen Datenlage, die überwiegend keinen Vorteil des Einsatzes von Impella® oder ECLS im Vergleich mit IABP, sondern im Gegenteil insbesondere im Vergleich mit

Mikroaxialpumpen sogar eine klare Überlegenheit der IABP und eine noch höhere Sterblichkeit unter ECLS zeigt [9–12], nicht gut nachvollziehbar ist. Bei allen Limitationen, die ein Vergleich von Registerdaten aus unterschiedlichen Gesundheitssystemen mit sich bringt, sprechen Registerdaten aus Deutschland, den USA und Japan eine klare Sprache hinsichtlich der Bedeutung der IABP im kardiogenen Schock. In allen drei Gesundheitssystemen hatten im Rahmen eines kardiogenen Schocks mittels mechanischer Kreislaufunterstützung behandelte Patienten dann die höchste Überlebensrate, wenn sie mit einer IABP unterstützt wurden [9–12]. Ob sich die in Deutschland im Vergleich zu den USA und Japan deutlich höhere Sterblichkeit im kardiogenen Schock lediglich über den deutlich intensiveren Einsatz invasiverer Kreislaufunterstützungsverfahren wie Mikroaxialpumpen oder ECLS aufgrund anderer Patientenselektion und/oder einen zu zurückhaltenden Einsatz erweiterter hämodynamischer Monitoringverfahren zur Therapiesteuerung erklärt, kann aktuell nur spekuliert werden.

Einsatz der IABP im Kontext Herzchirurgie

Mit Einführung in die klinische Praxis hat die mechanische Kreislaufunterstützung mittels IABP auch rasch an Bedeutung bei der Versorgung herzchirurgischer Patienten gewonnen. Wurden die Systeme initial primär analog zur Situation im kardiogenen Schock zur Unterstützung eines erschwerten Weanings von der EKZ und zur Behandlung eines postoperativen Low-cardiac-output-Syndroms (LCOS) eingesetzt, beobachteten zahlreiche Arbeitsgruppen mit zunehmender Erfahrung im Umgang mit dieser Technologie, dass ein präemptiver Einsatz der IABP – also ein Start der aortalen Gegenpulsation bereits vor der Operation – geeignet war, das Outcome herzchirurgischer Risikopatienten zu verbessern [8]. Zudem zeigte sich eine Reduktion von postoperativer Organ-dysfunktion, wenn die IABP während der EKZ zur Induktion von Pulsatilität genutzt wurde [13].

Die aktuell in Überarbeitung befindliche, 2015 publizierte S3-Leitlinie zum Einsatz der IABP in der Herzchirurgie empfiehlt – vor dem Hintergrund multipler Meta-Analysen zu dieser Thematik (Abb. 2) [14] – daher unter anderem, bei hämodynamisch stabilen Hochrisikopatienten präoperativ eine IABP zu implantieren (LoE 1b; GoR B) und diese bei präoperativer Implantation zur Induktion eines pulsatilen Flusses während der EKZ zu nutzen (LoE 1b; GoR A) [15].

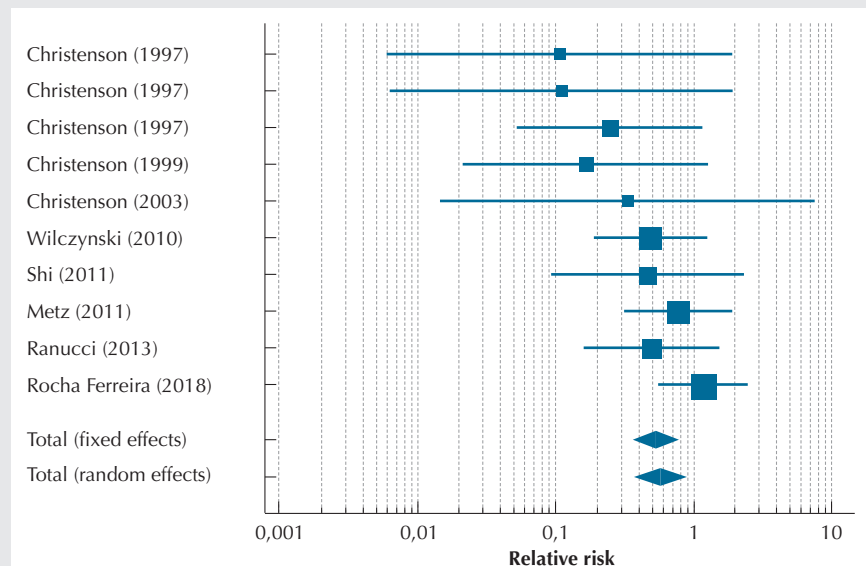
Die Empfehlung zum Einsatz der IABP bei Risikopatienten der deutschen S3-Leitlinie decken sich dabei mit aktuellen Empfehlungen einer US-amerikanischen Expertengruppe der American Association of Thoracic Surgery (AATS). Diese empfiehlt, bei Patienten mit Herzinsuffizienz, fortgeschrittener linksventrikulärer Dilatation, Hinweisen auf kardial induzierte Organdysfunktion oder antizipiertem Bedarf für eine postoperative mechanische Kreislaufunterstützung eine präoperative IABP in Erwägung zu ziehen (LoE B-R; GoR 1) [16].

Dass der Ansatz, bei herzchirurgischen Patienten mit einem erhöhten Risiko

präoperativ eine IABP zu implantieren, eine sinnvolle Maßnahme darstellen kann, wird durch aktuellste Daten unterstrichen. So zeigte sich in einer 878 Patienten umfassenden, Propensity-gemachten Kohorte einer europäischen Registerstudie, dass eine schleusenlose, präoperative Implantation protektiv gegenüber vaskulären Komplikationen wirkte und zudem mit einer deutlich niedrigeren als erwarteten Sterblichkeit assoziiert war [17,18].

Größere Studien zum Einsatz der IABP im Vergleich mit anderen Verfahren mechanischer Kreislaufunterstützung im Kontext einer erschwerten Entwöhnung von der EKZ oder im Rahmen eines postoperativen LCOS liegen aktuell nicht vor. Eine aktuelle Expertenempfehlung der europäischen und der amerikanischen Fachgesellschaften für Herz- und Thoraxchirurgie (EACTS, STS, AATS) sowie der European Life Support Organisation (ELSO) [19] stellt aber klar fest: „The IABP remains the mainstay for and first approach to postcardiotomy shock management. Its safety profile, ease of insertion and efficacy in many patients,

Abbildung 2



Der Effekt des präemptiven Einsatzes einer intraaortalen Ballonpumpe (IABP) auf die Sterblichkeit bei herzchirurgischen Risikopatienten (nach [14], ergänzt um eine zwischenzeitlich publizierte, neutrale Studie). In 10 randomisierten Studien mit 1.352 Patienten zeigt sich eine signifikant reduziertes Sterblichkeitsrisiko (0,541; 95 % Konfidenzintervall 0,369 bis 0,793; $p = 0,002$) ohne Heterogenität ($p = 0,3749$).

particularly those with underlying coronary ischaemic disease, makes its use appropriate and reasonable.”

Einsatz der IABP zur Entlastung des linken Ventrikels während einer ECLS-Therapie

Neben den klassischen Indikationen zur Optimierung der Pumpfunktion im Rahmen einer myokardialen Dysfunktion hat die IABP in den letzten Jahren auch zunehmende Bedeutung zur Entlastung des linken Ventrikels im Rahmen einer ECLS-Therapie erlangt. Letztere kann, insbesondere bei femoraler Kanülierung, durch retrograden Blutfluss in die Aorta die linksventrikulären Nachlast steigern. Dies kann – insbesondere bei Ventrikeln, die nur wenig oder kein Blut mehr auswerfen – zu einer zunehmenden linksventrikulären Dilatation, pulmonalen Stauung mit konsekutivem Lungenödem sowie intrakardialer Thrombenbildung führen. Der Einsatz einer IABP ist auch in diesem Kontext geeignet, die Nachlast des Ventrikels so zu reduzieren, dass das Herz leichter auswerfen kann und der linksventrikuläre Druck sinkt.

Größere prospektive Untersuchungen zur Effizienz der IABP in diesem Kontext liegen aktuell nicht vor. Die Ergebnisse von Observationsstudien und verschiedene Meta-Analysen legen aber nahe, dass der Einsatz der IABP zur Entlastung des linken Ventrikels das Weaning von der ECLS-Therapie erleichtert und die Letalität reduzieren könnte [4,20].

Komplikationen der IABP

Beim Einsatz einer IABP lassen sich vaskuläre und non-vaskuläre Komplikationen unterscheiden. Die Inzidenz von IABP-Komplikationen wurde in einer aktuellen Multizenterstudie an 2.615 Patienten untersucht. Hierbei fand sich eine Rate von 7,2 % vaskulärer Komplikationen, wobei eine Ischämie des Beines in 1,3 % der Fälle beobachtet wurde [18].

In einer weitergehenden, Propensity-gematchten Analyse dieser Kohorte [17]

zeigte sich, dass die Komplikationsrate bei schleusenloser Implantation der IABP, was den aktuellen Standard darstellt, noch niedriger lag. Die Ergebnisse dieser Studien sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Als häufige nicht-vaskuläre Komplikationen im Zusammenhang mit einer IABP-Therapie werden insbesondere eine Thrombozytopenie und Fieber beschrieben. Ein Abfall der Thrombozyten ist häufig unter IABP-Therapie zu beobachten, mit einem Nadir am 3. Tag unter IABP-Therapie und Erholung auf Normalwerte um den 8. Tag. Die oben erwähnte aktuelle, Propensity-Score-gematchte Registerstudie zeigt, dass die

Inzidenz von schwerer Thrombozytopenie ähnlich wie vaskuläre Komplikationen abhängig ist von der Art der IABP-Implantation (schleusenlos bzw. mit Schleuse) und dass bei schleusenloser Implantation nur mit einer ca. 5 %igen Rate schwerer Thrombozytopenien zu rechnen ist [18].

Eine weitere mögliche Komplikation ist die mesenteriale Ischämie, deren Häufigkeit in einer retrospektiven kanadischen Studie mit 0,5 % angegeben wird [21]. Eine korrekte Auswahl der Ballongröße sowie eine genaue Platzierung des Ballons mittels TEE erscheinen geeignet, die Häufigkeit dieser Komplikationen weiter zu reduzieren.

Tabelle 1

Auflistung relevanter Komplikationen beim Einsatz einer intraaortalen Ballonpumpe (IABP) bei herzchirurgischen Patienten in einer Gesamtkohorte von 2.615 Patienten sowie in einer Propensity-gematchten Subgruppe von 878 Patienten, aufgeschlüsselt nach Einsatz einer Schleuse bei der IABP-Implantation (nach [17,18]).

Outcome	Anzahl der Patienten (%)	schleusenlos (n = 439)	mit Schleuse (n = 439)	Signifikanz
Krankenhaussterblichkeit	333 (12,7)	21 (5 %)	84 (19 %)	<0,001
Todesursache				
kardial	266 (80,0)	16 (77 %)	70 (83 %)	0,527
neurologisch	22 (6,6)	2 (10 %)	6 (7 %)	0,659
IABP-bezogen	5 (1,5)	0	2 (2 %)	1
andere Ursachen	40 (13,7)	3 (14 %)	6 (7 %)	0,69
Gefäßkomplikationen	189 Patienten (7,2 %, 215 vaskuläre Komplikationen)	12 (3 %)	35 (8 %)	<0,001
ipsilaterale Ischämie	35 (1,3)	4 (1 %)	9 (2 %)	0,263
Blutung IABP-Insertionsstelle	17 (0,7)	4 (1 %)	5 (1 %)	1
Schlaganfall	49 (1,9)	4 (1 %)	14 (3 %)	0,29
Gefäßläsion	20 (0,8)	3 (1 %)	6 (1 %)	0,506
retroperitoneale Blutung	3 (0,1)	0	1 (0,2 %)	1
Andere Komplikationen				
schwere Thrombozytopenie	293 (11,2)	23 (5 %)	96 (22 %)	<0,001
postoperativ V-A ECMO	55 (2,1)	21 (5 %)	49 (11 %)	<0,001
IABP-bezogene Komplikationen	5 (0,2)			
IABP-Ballonruptur	3 (0,1)	0	2 (1 %)	0,499
IABP-Ballon-Dysfunktion				
IABP – Austausch erforderlich	2 (0,1)	1 (0,2 %)	1 (0,2 %)	1

Komplikationen der IABP im Vergleich mit anderen MCS-Systemen

Größere prospektiv randomisierte Studien, bei denen die IABP hinsichtlich ihrer Komplikationsraten mit anderen mechanischen Kreislaufunterstützungssystemen verglichen wurde, liegen aktuell nicht vor. Zahlreiche aktuelle Registerarbeiten weisen aber neben der bereits eingangs zitierten höheren Sterblichkeit beim Einsatz dieser Systeme auch auf eine signifikant höhere Rate an schwerwiegenden Komplikationen hin [10,11] (Abb. 3).

Konsequenzen des Ausfalls einer IABP

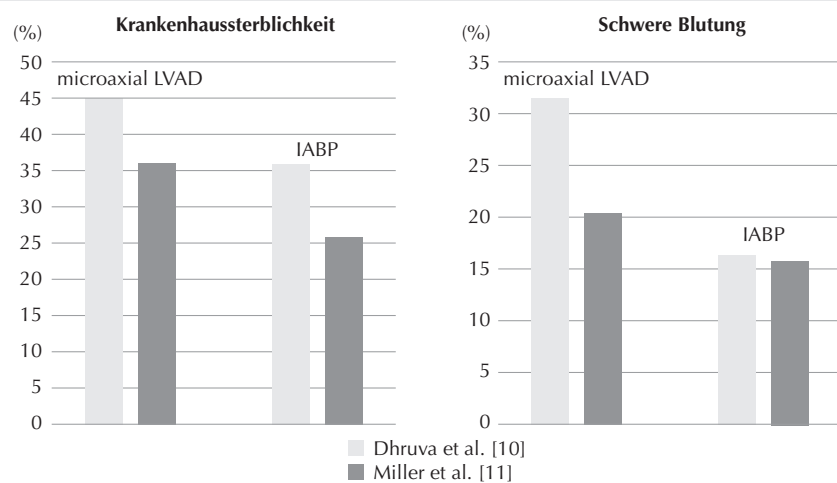
Zahlen zur Inzidenz technischer Probleme wie z. B. dem Ausfall einer Konsole lassen sich aus der verfügbaren Literatur nicht ableiten. Nach Einschätzung und Erfahrung der Autoren ist die letztgenannte Komplikation außerordentlich selten und meist auf Bedienungsfehler zurückzuführen.

Dennoch stellt der Ausfall eines mechanischen Kreislaufunterstützungssystems natürlich ein Ereignis dar, welches wie bei jedem technischen Medizinprodukt antizipiert und durch begleitende Sicherheitsmaßnahmen in seinen Auswirkungen minimiert werden muss.

Da eine – mindestens partiell – erhaltene Auswurf Funktion des Herzens eine Grundvoraussetzung für die Nutzung einer IABP ist, kann ein kurzfristiger Ausfall des Systems in aller Regel passager durch entsprechende pharmakologische Maßnahmen (Steigerung der inotropen und/oder vasoaktiven Therapie) kompensiert werden. Diese sollte aber – um unerwünschte Nebenwirkungen einer hochdosierten Therapie mit inotropen und/oder vasoaktiven Substanzen zu umgehen – so kurz wie möglich gehalten werden.

Die naheliegendste Maßnahme bei Ausfall einer Konsole ist natürlich, durch Vorhaltung eines Backup-Systems sicherzustellen, eine defekte IABP-Konsole

Abbildung 3



Krankenhaussterblichkeit und schwere Blutungen bei Patienten, die im Rahmen eines myokardinfarkt-assoziierten kardiogenen Schocks entweder mit einer Mikroaxialpumpe (ma-LVAD – Impella®) oder einer intraaortalen Ballonpumpe (IABP) behandelt wurden. Propensity-gematchte Registerdaten von 1.680 bzw. 1.634 Patienten (nach [10,11]).

unmittelbar austauschen zu können; dies ist für andere lebenserhaltende technische Systeme wie z. B. ECLS-Systeme selbstverständlich und wird für diese auch in Leitlinien empfohlen.

Wie dargestellt ist der Ausfall einer IABP aber nach der Erfahrung der Autoren ein außerordentlich seltenes Ereignis; in aller Regel laufen IABPs – eine richtige Handhabung natürlich vorausgesetzt – sehr stabil.

Laut einer aktuellen FDA-Warnung kann es bei Dysfunktion eines IABP-Ballons auch zum Übertritt von Blut in die IABP-Konsole und nachfolgendem Systemausfall kommen (See Medical Device Recall Database entry). Ein vergleichbares Ereignis wird seitens der Autoren nicht erinnert, stellt aber bei einer Ballonruptur- bzw. Ballondysfunktionsrate von lediglich 0,1 % [18] sicher ein sehr seltenes Ereignis dar, welches zudem bei entsprechender Vigilanz rechtzeitig entdeckt werden kann.

Zusammenfassung

Zusammengefasst handelt es sich bei der IABP um ein langjährig etabliertes, im Vergleich zu anderen Modalitäten sehr sicheres mechanisches Kreislaufun-

terstützungsverfahren, welches weltweit sowohl unter den Bedingungen des kardiogenen Schocks und des Postkardiotomie-Schocks als auch präemptiv bei herzchirurgischen Risikopatienten eingesetzt wird und auf welches – ohne Nachteile für Patienten in Kauf zu nehmen – auch nicht verzichtet werden kann. Der Einsatz der IABP ist allerdings – im Gegensatz zu einer ECLS-Therapie – auf Patienten mit ggf. zwar stark reduzierter, aber noch partiell erhaltener myokardialer Pumpfunktion beschränkt. Systembedingt ist zudem die individuell mit aortaler Gegenpulsation erzielbare Steigerung des Herzzeitvolumens variabel und nicht konkret vorhersehbar, in der Regel jedoch deutlich geringer als mit anderen Unterstützungssystemen.

Getriggert durch eine neutrale Studie beim kardiogenen Schock wird das Device in Deutschland und dem unmittelbar benachbarten europäischen Ausland aktuell deutlich weniger als früher eingesetzt; die enttäuschenden Ergebnisse in der Behandlung des kardiogenen Schocks in Deutschland im Vergleich z. B. mit den USA und Japan stellen allerdings erheblich in Frage, ob dies eine günstige Entwicklung ist.

Literatur

- Kantrowitz A, Tjonneland S, Freed PS, Phillips SJ, Butner AN, Sherman JL Jr.: Initial clinical experience with intraaortic balloon pumping in cardiogenic shock. *JAMA* 1968;203:113–118
- Baldetti L, Pagnesi M, Gramegna M, et al: Intra-Aortic Balloon Pumping in Acute Decompensated Heart Failure With Hypoperfusion: From Pathophysiology to Clinical Practice. *Circ Heart Fail* 2021;14: e008527
- Malick W, Fried JA, Masoumi A, et al: Comparison of the Hemodynamic Response to Intra-Aortic Balloon Counterpulsation in Patients With Cardiogenic Shock Resulting from Acute Myocardial Infarction Versus Acute Decompensated Heart Failure. *Am J Cardiol* 2019;124:1947–1953
- Chen K, Hou J, Tang H, Hu S: Concurrent Implantation of Intra-Aortic Balloon Pump and Extracorporeal Membrane Oxygenation Improved Survival of Patients With Postcardiotomy Cardiogenic Shock. *Artif Organs* 2019;43:142–149
- Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ, et al: Intraaortic balloon support for myocardial infarction with cardiogenic shock. *N Engl J Med* 2012;367:1287–1296
- Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, et al: (2016) 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 2016;37:2129–2200
- McDonagh, Metra M, Adamo M, et al: 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *European Heart J* 2021;42:3599–3726
- Heringlake M, Berggreen AE, Paarmann H: Still a place for aortic counterpulsation in cardiac surgery and patients with cardiogenic shock? *Crit Care*. 2021;25:309
- Lang CN, Kaier K, Zotzmann V, et al: Cardiogenic shock: incidence, survival and mechanical circulatory support usage 2007-2017-insights from a national registry. *Clin Res Cardiol* 2021;110:1421–1430
- Dhruva SS; Ross JS, Mortazavi BJ, et al: Association of Use of an Intravascular Microaxial Left Ventricular Assist Device vs Intra-aortic Balloon Pump With In-Hospital Mortality and Major Bleeding Among Patients With Acute Myocardial Infarction Complicated by Cardiogenic Shock. *JAMA* 2020;323:734–745
- Miller PE, Bromfield SG, Ma Q, et al: Clinical Outcomes and Cost Associated With an Intravascular Microaxial Left Ventricular Assist Device vs Intra-aortic Balloon Pump in Patients Presenting With Acute Myocardial Infarction Complicated by Cardiogenic Shock. *JAMA Intern Med* 2022;182:926–933
- Ishii M, Tsujita K, Okamoto H, et al: Resources for cardiovascular healthcare associated with 30-day mortality in acute myocardial infarction with cardiogenic shock. *Eur Heart J Open* 2021;2:oeab047
- Serraino GF, Marsico R, Musolino G, et al: Pulsatile cardiopulmonary bypass with intra-aortic balloon pump improves organ function and reduces endothelial activation. *Circ J* 2012;76:1121–1129
- Pilarczyk K, Boening A, Jakob H, et al: Preoperative intra-aortic counterpulsation in high-risk patients undergoing cardiac surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Cardiothorac Surg* 2016;49:5–17
- Pilarczyk K, Bauer A, Boening A, et al: S3-Guideline: Recommendations for intra-aortic balloon pumping in cardiac surgery. *Thorac Cardiovasc Surg* 2015;63 Suppl 2:S131–S196
- Bakaeen FG, Gaudino M, Whitman G, et al: 2021:The American Association for Thoracic Surgery Expert Consensus Document: Coronary artery bypass grafting in patients with ischemic cardiomyopathy and heart failure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2021;162:829–850
- Heuts S, Lorusso R, di Mauro M, et al: Sheathless Versus Sheathed Intra-Aortic Balloon Pump Implantation in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Am J Cardiol* 2023;189:86–92
- Lorusso R, Heuts S, Jiritano F, et al: Contemporary outcomes of cardiac surgery patients supported by the intra-aortic balloon pump. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surg* 2022;35:ivac091
- Lorusso R, Whitman G, Milojevic M, et al: 2020 EACTS/ELSO/STS/AATS expert consensus on post-cardiotomy extracorporeal life support in adult patients. *Eur J Cardiothorac Surg* 2021;59:12–53
- Grandin EW, Nunez JI, Willar B, et al: Mechanical Left Ventricular Unloading in Patients Undergoing Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation. *J Am Coll Cardiol* 2022;79:1239–1250
- Manshadi SD, Eisenberg N, Montbriand J, et al: Vascular Complications With Intra-aortic Balloon Pump (IABP): Experience From a Large Canadian Metropolitan Centre. *Can J Cardiol open* 2022;4:989e993.

Korrespondenz- adresse



**Prof. Dr. med.
Matthias Heringlake**

Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin
Herz- und Diabeteszentrum
Mecklenburg-Vorpommern –
Klinikum Karlsburg
Greifswalder Straße 11
17495 Karlsburg, Deutschland
Tel.: 038355 70-2500
Fax: 038355 70-1227
E-Mail: Heringlake@drguth.de