

Kardiologie 2023 · 17:141–159
<https://doi.org/10.1007/s12181-023-00610-7>
 Angenommen: 22. März 2023
 Online publiziert: 31. Mai 2023
 © Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2023



Interventionelle Therapie und multidisziplinäre Managementstrategien für die akute Lungenembolie

Alexander Ghanem¹ · Martin Andrassy² · Daniel Dürschmied³ · Georg Föhnau⁴ · Tobias Geisler⁵ · Marcus Henersdorf⁶ · Maïke Knorr⁷ · Tobias J. Lange^{8,9} · Antje Masri-Zada¹⁰ · Guido Michels¹¹ · Stephan Rosenkranz¹² · P. Christian Schulze¹³ · Tobias Tichelbäcker¹² · Christiane Tiefenbacher^{14,17} · Heinrike Wilkens¹⁵ · Stavros Konstantinides¹⁶

¹ Abteilung für Kardiologie, Asklepios Klinik Nord – Heidberg, Hamburg, Deutschland; ² Kardiologie, Angiologie und internistische Intensivmedizin, Fürst-Stürum Klinik, Bruchsal, Deutschland; ³ I. Medizinische Klinik (Kardiologie, Angiologie, Hämostaseologie und Internistische Intensivmedizin), Universitätsklinikum Mannheim, Medizinische Fakultät Mannheim, der Universität Heidelberg, Mannheim, Deutschland; ⁴ Klinik für Innere Medizin, Städtisches Klinikum Dessau, Dessau-Roßlau, Deutschland; ⁵ Medizinische Klinik III, Kardiologie und Angiologie, Klinikum der Eberhard-Karls-Universität, Tübingen, Deutschland; ⁶ Klinik für Innere Medizin I, SLK-Kliniken Heilbronn, Heilbronn, Deutschland; ⁷ Kardiologie I – Allgemeine Kardiologie, interventionelle Kardiologie, Angiologie und internistische Intensivmedizin, Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland; ⁸ Abteilung für Innere Medizin II, Pneumologie und Beatmungsmedizin, Kreisklinik Bad Reichenhall, Bad Reichenhall, Deutschland; ⁹ Fakultät für Medizin, Universität Regensburg, Regensburg, Deutschland; ¹⁰ Kardiologische Gemeinschaftspraxis Gera, Gera, Deutschland; ¹¹ Zentrum für Notaufnahme, Krankenhaus der Barmherzigen Brüder Trier, Medizincampus der Universitätsmedizin Mainz, Trier, Deutschland; ¹² Klinik für Innere Medizin III, Universität zu Köln, Köln, Deutschland; ¹³ Klinik für Innere Medizin I (Kardiologie, Angiologie und Internistische Intensivmedizin), Universitätsklinikum Jena, Jena, Deutschland; ¹⁴ Klinik für Kardiologie, Angiologie, Pneumologie, internistische Intensivmedizin, Marienhospital Wesel, Wesel, Deutschland; ¹⁵ Innere Medizin V – Pneumologie, Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg, Deutschland; ¹⁶ Centrum für Thrombose und Hämostase, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland; ¹⁷ Kommission für Klinische Kardiovaskuläre Medizin, Deutsche Gesellschaft für Kardiologie, Düsseldorf, Deutschland

Der Verlag veröffentlicht die Beiträge in der von den Autorinnen und Autoren gewählten Genderform. Bei der Verwendung des generischen Maskulinums als geschlechtsneutrale Form sind alle Geschlechter impliziert.

Prof. Dr. Alexander Ghanem und Prof. Dr. Stavros Konstantinides sind federführende und korrespondierende Autoren.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

1. Präambel

Als dritthäufigstes, potenziell lebensbedrohliches akutes kardiovaskuläres Syndrom hat die Lungenembolie (LE) eine erhebliche Auswirkung auf die Mortalität und Morbidität der Bevölkerung in Deutschland und Europa. Dennoch konnten über Jahrzehnte sowohl in der pharmakologischen als auch in der interventionellen Behandlung von schweren akuten LE nur geringe Fortschritte verzeichnet werden – ganz im Gegensatz zu den rasanten Entwicklungen beim Management des akuten Myokardinfarkts oder ischämischen Schlaganfalls. Diese Situation ist aktuell in Veränderung begriffen, insbesondere weil die kathetergestützte LE-Behandlung diesen Rück-

stand mit zunehmendem Tempo aufholt. Die Verfügbarkeit einer immer größeren Vielfalt von Kathetersystemen bietet die Möglichkeit, thrombotisches Material schnell, effektiv und sicher aus den Lungenarterien und ihren Ästen zu entfernen. Gleichzeitig stellt diese Innovation eine große Herausforderung für alle Ärztinnen und Ärzte dar, die im klinischen Alltag an der Behandlung von LE beteiligt sind. Wie ist der aktuelle Kenntnisstand und welches Evidenzniveau existiert für die klinische Wirksamkeit der aktuell verfügbaren Systeme? Ist tatsächlich erwiesen, dass diese Systeme bzw. Verfahren der bisherigen „Standardtherapie“ überlegen sind? Wo bestehen noch Wissenslücken, und welche Studien werden aktuell durchgeführt, um diese zu schließen? Wie sollte

ein multidisziplinäres LE-Team für Akutsituationen lokal strukturiert sein, und nach welchen standardisierten Abläufen sollte es entscheiden und handeln?

Dieses Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (DGK) wurde unter Mitwirkung von Expertinnen und Experten aus mehreren Arbeitsgruppen der Fachgesellschaft verfasst. Basierend auf einer kritischen Literaturübersicht, bezieht die Autorengruppe in 11 Kernaussagen Stellung zu den aktuellen klinisch relevanten Fragen rund um die Reperfusionstherapie der LE, auch weil der Zuwachs an Technologie und Wissen in diesem Bereich seit der letzten LE-Leitlinie der europäischen Gesellschaft für Kardiologie [1] erheblich zugenommen hat. Ziel des vorliegenden Dokumentes ist, Hinweise und Ratschläge für die klinische Praxis zu geben und damit – unter Berücksichtigung der existierenden Evidenz sowie der vorhandenen Expertise und Ressourcen vor Ort – die Entwicklung individualisierter, multidisziplinär abgestimmter therapeutischer Standards zu unterstützen. Die männliche Form wurde zur sprachlichen Vereinfachung gewählt. In dieser Form werden alle Geschlechtsformen inkludiert.

2. Einführung in die Risikostratifizierung und das risikoadaptierte Management der akuten Lungenembolie

In Anbetracht des erheblichen Frühsterblichkeitsrisikos der akuten Lungenembolie (LE) kommt der Risikostratifizierung und der daraus abzuleitenden therapeutischen Strategie eine kritische Bedeutung zu. Die Leitlinien der Europäischen Kardiologie-Gesellschaft ESC – mit Unterstützung durch die Europäische Pneumologie-Gesellschaft ERS – zur Diagnostik und Therapie der akuten LE präsentieren hierzu einen risikoadaptierten Managementalgorithmus, der ein strukturiertes Vorgehen gewährleisten soll [1]. Je nach individueller Risikokonstellation reichen die therapeutischen Konsequenzen von der Reperfusionstherapie (intravenöse Thrombolysen, interventionelle kathetergestützte Verfahren, operative Embolektomie) und pharmakomechanischen Kreislaufunterstützung über alleinige Antikoagulation mit engmaschigem Monitoring über die

Die interventionelle Therapie der akuten Lungenembolie bietet großes Potenzial zur Senkung von Morbidität und Mortalität ausgewählter Patientinnen und Patienten mit intermediär-hohem und hohem Risiko. In diesem Positionspapier wird die aktuelle Datenlage zusammengefasst. Ferner wird die klinische Entscheidungsfindung mit konsentierten Kernaussagen und Flow-Charts unterstützt. Patienten mit akuter Lungenembolie mit intermediär-hohem oder hohem Risiko sollten demnach unmittelbar nach Diagnosestellung einem multidisziplinären Lungenembolieteam (LET) zur Risikostratifizierung vorgestellt werden. Für die proaktive Zusammenstellung des Teams sollten die Expertise und die Ressourcen vor Ort berücksichtigt werden. Die Etablierung multidisziplinärer LETs mit klarer Organisation und standardisierten Abläufen kann den Einsatz der lokal vorhandenen Behandlungsoptionen verbessern. Das Ziel des LET ist eine repetitive Risiko-Nutzen-Abwägung des Gesamtmortalitätsrisikos unter Berücksichtigung des LE-Schweregrades, der Hämodynamik und des Gasaustauschs im zeitlichen Verlauf, sowie des Nutzen-Risiko-Verhältnisses einer Intervention (pharmakodynamisch, katheterbasiert, operativ). Die katheterbasierte, interventionelle Therapie der akuten Lungenembolie ist zu erwägen bei manifester, therapierefraktärer Kreislaufinstabilität, nach erfolgloser systemischer thrombolytischer Behandlung sowie bei hohem Blutungsrisiko und Kontraindikation(en) gegen eine systemische Thrombolysen. Die letzte Entscheidung, ob und wenn ja welche Intervention durchgeführt wird, sollte durch ein LET getroffen werden.

Schlüsselwörter

Lungenarterienembolie · Reperfusion · Thrombektomie · Lyse

ersten Stunden oder Tage bis hin zur frühzeitigen Entlassung und ambulanten (Weiter-)Behandlung.

Die Beurteilung der vitalen Gefährdung bei akuter LE erfolgt durch Einschätzung des frühen Sterblichkeitsrisikos (30-Tage- bzw. Krankenhausletalität). Da die akute Druckbelastung des rechten Ventrikels mit konsekutivem Rechtsherzversagen einen entscheidenden Einfluss auf die Frühsterblichkeit hat, wird die „Hochrisiko-LE“, definiert durch eine manifeste oder unmittelbar drohende hämodynamische Instabilität, von der „Nicht-Hochrisiko-LE“ abgegrenzt. Zur Risikostratifizierung von hämodynamisch stabilen Patientinnen und Patienten wird die Anwendung validierter Scores wie des *Pulmonary Embolism Severity Index* (PESI) bzw. seiner vereinfachten („simplified“) Form (sPESI) empfohlen, um zwischen intermediärem und niedrigem Risiko zu unterscheiden. Innerhalb der intermediären Risikokategorie erfolgt – basierend auf den hämodynamischen Auswirkungen der LE auf den rechten Ventrikel (RV) – eine weitere Untergliederung in intermediär-niedriges oder intermediär-hohes Risiko. Kriterien sind der Nachweis einer RV-Dysfunktion per bildgebendem Verfahren (Echokardiographie, computertomographische Pulmonalarterienangiographie [CTPA]) und/oder Hin-

weise auf eine myokardiale Schädigung durch erhöhte kardiale Marker (kardiales Troponin I oder T, „brain natriuretic peptide“ [BNP] und N-terminales BNP [NT-proBNP]) [1]. Weitere klinische Parameter oder Ereignisse wie Synkopen, respiratorische Insuffizienz und eingeschränkte Nierenfunktion können ebenfalls zu einem erhöhten Risiko in der Akutphase beitragen bzw. darauf hindeuten [2–4].

Um einen schnellen, optimalen Einsatz der zur Verfügung stehenden Reperusionsstrategien zu gewährleisten, empfehlen europäische Leitlinien und Positionspapier [1, 5], das individuelle Vorgehen im Rahmen eines multidisziplinären LE-Teams abzustimmen und in Abhängigkeit von der klinischen Situation sowie der vor Ort vorhandenen Ressourcen und Expertise die bestgeeignete Behandlungsstrategie festzulegen. Eine klare Indikation für eine umgehende Reperusionsbehandlung besteht bei der Hochrisiko-LE, deren Definition mindestens eins von folgenden klinischen Kriterien erfordert: Herz/Kreislaufstillstand, obstruktiver Schock oder persistierende Hypotonie [1]. Grundsätzlich wird dagegen eine Reperusionsbehandlung außerhalb dieser Risikoklasse selbst bei intermediär-hohem Risiko (definiert durch RV-Dysfunktion plus Troponin-Erhöhung)

Tab. 1 Aktuell zugelassene thrombolytische (fibrinolytische) Substanzen und Schemata in der Therapie akuter Lungenembolien

Substanz	Dosierung		Kontraindikationen	
	Volldosis	Beschleunigtes Schema	Absolut	Relativ
rtPA, Alteplase (Actilyse®)	100 mg über 2 h	0,6 mg/kg über 15 min (maximale Dosis 50 mg) ^a	Anamnese eines hämorrhagischen Schlaganfalls oder Schlaganfalls unklarer Genese Ischämischer Schlaganfall in den letzten 6 Monaten	Transiente ischämische Attacke in den letzten 6 Monaten Laufende orale Antikoagulation Schwangerschaft bzw. erste Woche nach Entbindung
Streptokinase (Streptase®)	250.000 IE als Aufsättigungsdosis über 30 min, gefolgt von 100.000 IE/h über 12–24 h	1,5 Mio. IE über 2 h	Tumorerkrankung des zentralen Nervensystems Schweres Trauma, chirurgischer Eingriff oder Kopfverletzung in den letzten 3 Wochen	Nichtkomprimierbare Punktionsstellen Traumatische Reanimation Refraktäre Hypertonie (systolischer RR > 180 mm Hg)
Urokinase (Urokinase HS medac®)	4400 IE/kg als Aufsättigungsdosis über 10 min, gefolgt von 4400 IE/kg/h über 12–24 h	3 Mio. IE über 2 h	Blutungsdiathese Aktive Blutung	Fortgeschrittene Lebererkrankung Infektiöse Endokarditis Aktives peptisches Ulkus

rtPA rekombinanter Gewebefibrinolyseaktivator (Alteplase), IE internationale Einheiten, kg Kilogramm, Mio. Millionen, h Stunde, RR Blutdruck, min. Minute, mg Milligramm
^aDas beschleunigte Schema für rt-PA ist für die Behandlung der akuten Lungenembolie nicht offiziell zugelassen, es wurde in kleineren Studien unter Bedingungen extremer hämodynamischer Instabilität (wie bei Herz-Kreislauf-Stillstand) untersucht

als Erstlinientherapie nicht empfohlen [1]. Diese Zurückhaltung stützt sich v. a. auf die Ergebnisse der *Pulmonary Embolism International Thrombolysis* (PEITHO)-Studie, in der sich eine schnelle hämodynamische Verbesserung nur auf Kosten von zerebralen und anderen größeren Blutungskomplikationen erzielen ließ [6]. Jedoch lässt eine Post-hoc-Analyse dieser Studie vermuten, dass die Berücksichtigung bestimmter klinischer Parameter (systolischer Blutdruck < 110 mm Hg, Atemfrequenz > 20/min, chronische Herzinsuffizienz) zu einer besseren Identifizierung von Reperfusionkandidaten innerhalb dieser Risikokategorie führen könnte [7]. Diese Hypothese sowie die Anwendung expliziter klinischer Frühwarnscores als Entscheidungshilfe zur frühen Therapieeskalation auf der Basis der Dynamik der Vitalparameter [8] werden aktuell im Rahmen laufender randomisierter Reperfusionstudien validiert [9, 10].

Kernaussage 1

Bei akuter Lungenembolie und initial stabilen Kreislaufverhältnissen stellt eine hämodynamische Verschlechterung mit manifester oder drohender Dekompensation bzw. Kreislaufkollaps im Verlauf die Indikation zur Reperfusionstherapie. In der Regel ist die Lyse die Standardtherapie, alternativ kommen bei geeigneter Indikation auch eine kathetergestützte Intervention oder eine operative Embolektomie infrage.

Kernaussage 2

Die Kriterien einer drohenden Dekompensation sollten sich nach dem Verlauf der Vitalparameter richten. Zur standardisierten Überwachung der Dynamik klinischer Parameter und damit zur Risikoeinschätzung in der Akutphase einer Lungenembolie können explizite Frühwarnscores hilfreich sein.

3. Intravenöse (systemische) Thrombolyse: Nutzen, Risiken und Kontraindikationen

Die systemische intravenöse Thrombolyse wird bei Patienten mit akuter LE und hohem Risiko mit einem hohen Empfehlungsgrad befürwortet (Klasse I) [1]. Auch wenn der größte Nutzen einer thrombolytischen Behandlung innerhalb der ersten 48 h nach Beginn der LE-Symptomatik zu erwarten ist, gibt es Hinweise, dass noch bis zu 14 Tagen nach Symptombeginn günstige Effekte zu erzielen sind [11]. Die derzeit für die LE zugelassenen Thrombolytika sind in der Tab. 1 aufgeführt. Schwere bzw. intrakranielle Blutungen treten bei systemischer Thrombolyse in ca. 10 % bzw. 1,7 % der Fälle auf [12]. Ein ausbleibender Erfolg der Thrombolyse – gemessen an fehlender hämodynamischer Stabilisierung und Verbesserung der RV-Funktion – wurde in der Literatur in ca. 8 % der Fälle beschrieben [13].

Der Nutzen einer systemischen Thrombolyse bei hämodynamisch stabilen Patienten mit LE intermediär-hohen-Risikos

bleibt derzeit unklar. In der PEITHO-Studie führte zwar die Thrombolyse mittels Tenecteplase zu einer signifikanten Reduktion einer hämodynamischen Dekompensation oder des Auftretens eines Kreislaufkollapses, allerdings war sie mit einem hohen Risiko für schwere, insbesondere intrakranielle Blutungen verbunden [6]. Das Nutzen-Risiko-Verhältnis einer reduzierten Alteplase-Dosis in der intermediär-hohen Risikogruppe wird derzeit in einer großen randomisierten Studie untersucht [9].

Kernaussage 3

Es existiert kein allgemein anerkannter und validierter Risikoscore für die Voraussage von Blutungskomplikationen einer thrombolytischen Behandlung. Die individuelle Einschätzung des Risikos und die Abwägung des Nutzen-Risiko-Verhältnisses sollten empirisch, auf der Basis der relativen und absoluten Kontraindikationen gegen diese Behandlungsform erfolgen (Tab. 1).

Kernaussage 4

Es bestehen keine allgemein akzeptierten Kriterien für das Versagen einer thrombolytischen Behandlung. Sowohl eine klinische und hämodynamische Verschlechterung als auch das Ausbleiben einer klinischen Verbesserung 2–4 h nach Beginn der intravenösen Lyseinfusion kann auf Erfolglosigkeit hindeuten. Auch echokardiographische Zeichen einer Verschlechterung der rechtsventrikulären Funktion und ein steigender Laktat Spiegel als Marker einer systemischen Hypoperfusion

Tab. 2 Übersicht und Klassifizierung kathetergestützter Systeme			
Interventionelle Technik	System	Wirkmechanismus	Technische Aspekte
Kathetergestützte Thrombolysen	Uni-Fuse® (Angiodynamics, Alameda, CA, USA)	Katheter mit mehreren Seitlöchern	4F–5F Katheter
	Cragg-McNamara® (Medtronic, Minneapolis, MN, USA)	Katheter mit mehreren Seitlöchern	4F–5F Katheter
	EkoSonic® (Boston Scientific, Marlborough, MA, USA)	Ultraschall-assistierte Thrombolysen	5F Katheter
Kathetergestützte Thrombektomie – Fragmentierung und/oder Aspiration	Pronto XL® (Vascular Solution, Inc., Minneapolis, MN, USA)	Aspiration	14F Katheter
	Rotationspigtail-Katheter	Fragmentierung und Aspiration	6F–8F Katheter
	Aspirex® (Straub Medical, Wangs, CH)	Fragmentierung und Aspiration	6F–10F Katheter
	AngioJet® (Boston Scientific, Marlborough, MA, USA)	Pharmakomechanische Thrombusaspiration	6F–8F Katheter
	Indigo® (Penumbra, Inc., Alameda, CA, USA)	Mechanische Thrombusfragmentierung mit Aspiration	8F Katheter
	FlowTrievers® (Inari Medical, Irvine, CA, USA)	Aspirationskatheter mit Nitinol Scheiben zur Thrombusmobilisierung und Entfernung	16F–24F Katheter
	AngioVac® (Angiodynamics, Alameda, CA, USA)	Aspiration, Blutfiltration und Reinfusion	26F Katheter für Aspiration 16F–20F Katheter für Reinfusion

sollten bei einer Beurteilung des Reperfusionserfolgs berücksichtigt werden.

4. Systeme zur perkutanen kathetergestützten Behandlung von Lungenembolien

Interventionelle Verfahren zur Therapie der akuten LE haben in den letzten Jahren im Bereich der kardiovaskulären Medizin und Radiologie zunehmend an Popularität gegenüber der systemischen Thrombolysen gewonnen. Sie versprechen eine regionale, vollständige und schnelle Rekanalisation der verschlossenen Pulmonalarterie mit Wiederherstellung des Blutflusses und somit Reduktion des pulmonalarteriellen Widerstandes. Diese kann über die Entlastung des RV zu einer hämodynamischen Stabilisierung führen. Die interventionellen Ansätze werden in kathetergestützte Thrombolysen (KTL) und kathetergestützte Thrombektomie/Embolektomie (KTE) unterteilt, wobei beim letzteren Verfahren eine Kombination aus Fragmentierung und/oder Aspiration des thrombotischen Materials angewandt wird (■ Tab. 2).

4.1. Kathetergestützte lokale Thrombolysen

Bei der KTL wird ein Katheter in die Pulmonalarterie(n) durch den Thrombus vor-

gebracht und proximal des Verschlusses platziert. Das Thrombolytikum kann direkt in den Thrombus appliziert werden, sodass eine Dosisreduktion im Vergleich zur systemischen Lyse ermöglicht wird und zur Senkung des Risikos für klinisch relevante Blutungen beitragen kann. Die zur Verfügung stehenden Systeme werden in ■ Tab. 2 aufgelistet. Die Dosierung des Thrombolytikums und die Dauer der Behandlung sind allerdings in diesem Verfahren noch nicht standardisiert [14, 15]. Darüber hinaus sind keine Daten aus kontrollierten Studien zum direkten Vergleich der KTL mit der systemischen Thrombolysen vorhanden [16–19].

Eine Weiterentwicklung der KTL stellt das Prinzip der ultraschallassistierten kathetergestützten Thrombolysen. Das System (EkoSonic®, Boston Scientific, Marlborough, MA, USA) besteht aus einem Doppellumenkatheter und einer Kontrolleinheit, die Ultraschallenergie liefert. Der Katheter wird distal des Thrombus platziert, über ein Lumen wird das Thrombolytikum verabreicht und über das zweite Lumen werden gleichzeitig hochfrequente Ultraschallwellen abgegeben. Nach diesem Prinzip sollen die Ultraschallwellen die Wirksamkeit der pharmakologischen Thrombolysen verstärken, indem sie die Zerkleinerung der Fibrinfäden im Thrombus unterstützen. Damit wird die Anwendung einer – im Vergleich zu der intravenösen Ly-

se – deutlich niedrigeren und wahrscheinlich sichereren (im Hinblick auf das Blutungsrisiko) Dosis des Thrombolytikums ermöglicht.

4.2. Kathetergestützte Thrombektomie – Fragmentierung und Aspiration

In ■ Tab. 2 sind kathetergestützte Verfahren dargestellt, bei denen über eine Aspiration – mit oder ohne Fragmentierung – des thrombotischen Materials der pulmonalarterielle Fluss wiederhergestellt wird [18, 19]. Hierzu zählen unter anderem großlumige Aspirationskatheter (Pronto XL), bei denen eine gleichzeitige lokale Lysetherapie möglich ist. Der Rotationspigtail-Katheter ist eines der ältesten Verfahren zur mechanischen Thrombektomie bei akuter LE [20]. Eine weitere Option stellt das Aspirex-Rotations-Thrombektomie-System. Dieses System arbeitet mit dem archimedischen Schraubenprinzip, welches durch eine Spirale erzeugt wird. Durch die schnelle Rotation der Helix (ca. 40.000 Umdrehungen/min) wird im Inneren des Katheters ein Vakuum erzeugt, wodurch das thrombotische Material aspiriert und ausgeleitet wird. Die aktuelle Evidenzlage zu beiden Systemen basiert überwiegend auf Fallberichten [21–26].

Tab. 3 Randomisierte kontrollierte Studien zur interventionellen kathetergestützten Behandlung der Lungenembolie

Intervention	Art der Studie (Akronym)	Autor	Jahr	Kollektiv	Ergebnis
Lokale Katheterlyse	RCT	Kroupa J et al. [38]	2022	Intermediär-hohes Risiko (n = 23) rtPA lokal + Heparin (n = 12) vs. Heparin (n = 11)	Reduktion der RV/LV-Ratio > 25 %: 7/12 vs. 1/11, <i>p</i> = 0,03 Reduktion PA-Druck > 30 %: 10/12 vs. 2/11, <i>p</i> = 0,001 Keine relevanten Blutungen (nach BARC)
Ultraschallassistierte Katheterlyse	RCT (ULTIMA)	Kucher N et al. [32]	2014	Intermediär-hohes Risiko (n = 59), RV/LV-Ratio > 1 USAT (über 15 h, n = 30) vs. Heparin (n = 29)	RV/LV-Ratio: USAT: -0,30 ± 0,20 vs. 0,03 ± 0,16, <i>p</i> < 0,001 Keine schwerwiegenden Blutungen
	RCT (SUNSET sPE)	Avgerinos ED et al. [14]	2021	Intermediär-hohes Risiko (n = 81) USAT vs. Standard-KTL	Bei vergleichbarer Lyse (ca. 18 mg rt-PA) und Infusionsdauer (ca. 14 h): RV/LV-Ratio: USAT: -1,17, KTL: -1,10 (<i>p</i> < 0,001), Thrombusscore (CTPA): USAT: -9, KTL -10 (<i>p</i> < 0,001) 1 intrakranielle Blutung (USAT)

BARC Bleeding Academic Research Consortium, **CTPA** computertomographische Pulmonalarterienangiographie, **KTL** kathetergestützte Thrombolyse, **LE** Lungenembolie, **LV** linksventrikulär, **PA** pulmonalarteriell, **RCT** randomisierte kontrollierte Studie, **rtPA** rekombinanter Gewebefibrinolyseaktivator (Alteplase), **RV** rechtsventrikulär, **USAT** ultraschallassistierte kathetergestützte Thrombolyse

Beim AngioJet-System wird mit hohem Druck Salzlösung am Ende des Katheters rückwärts geschossen, um Unterdruck zu erzeugen. Durch das Vakuum wird thrombotisches Material in den Katheter gesaugt und über diesen entfernt. Ebenso kann lokale Lysetherapie über den Katheter verabreicht werden. Neben dem klinischen Erfolg der Aspiration wurden allerdings schwerwiegende Komplikationen wie Bradykardie, arterielle Hypotension und kardiogener Schock berichtet [27]. Aktuell wird AngioJet nicht als erste Option für die interventionelle Therapie der akuten LE empfohlen [28].

Beim Indigo-Thrombektomie-System kann das thrombotische Material mithilfe einer Vakuumpumpe aspiriert und abtransportiert werden. Falls der Katheter durch das thrombotische Material verlegt ist, kann ein Separator vorgebracht und der Thrombus fragmentiert werden, um den Abfluss wiederherzustellen.

Das Flowtriever-System besteht aus einem großlumigen Katheter (in der Regel 24F), über welchen sich der Thrombus einerseits aspirieren lässt, und zusätzlich über 3 selbst-expandierbare Nitinolscheiben mechanisch retrahiert und eingefangen werden kann. Beim Zurückziehen des thrombotischen Materials werden die Nitinolscheiben mit in den Katheter eingefangen und der Thrombus am Stück aspiriert und geborgen. Die Prozedur kann mehrfach wiederholt werden.

Das AngioVac-System ist ein venovenöses System zur Aspiration von Thromben, Blutfiltration und Reinfusion. Über einen externen Filter wird das aspirierte Blut von thrombotischem Material befreit und über einen weiteren venösen Zugang (16–20F) dem Kreislauf retransfundiert. Das System konnte bereits erfolgreich bei der Therapie von intrakavitären Thromben und Herzklappenvegetationen eingesetzt werden [29–31], Studien im Bereich der Therapie der akuten LE sind allerdings noch ausstehend.

Zu beachten ist, dass es unter Einsatz der letztgenannten Aspirationssysteme (Indigo®, Flowtriever®, AngioVac®) zu erheblichem Blutverlust kommen kann.

4.3. Aktuelle Evidenzlage der kathetergestützten Therapie

Die randomisierten kontrollierten Studien zur interventionellen LE-Behandlung sind in **Tab. 3** dargestellt, Daten aus nicht kontrollierten Kohortenstudien oder Registern in **Tab. 4** zusammengefasst. In einer kleineren randomisierten Studie (n = 59) der ultraschallassistierten Thrombolyse mit alleiniger Antikoagulation mit Heparin im Kontrollarm ([32]; **Tab. 3**) sowie in einer prospektiven einarmigen Kohortenstudie [33] und einer randomisierten Dosis- und Dauerfindungs-Phase-II-Studie ([34]; **Tab. 4**) konnte unter Einsatz des EKOSonic-Systems eine frühe, signifikante Verbesserung der Hämody-

namik – gemessen an CTPA- und echokardiographischen Surrogatparametern – nachgewiesen werden. Beim Vergleich der „einfachen“ (ohne Ultraschallenergie) kathetergestützten mit der systemischen Thrombolyse ergab eine Metaanalyse aus 8 Studien an insgesamt 11.932 Patienten mit LE intermediär-hohen oder hohen Risikos einen Vorteil zugunsten der kathetergestützten Lyse mit einer signifikanten Reduktion der Hospitalmortalität und intrakraniellen Blutungen [35]. Auch in einer prospektiven Registerstudie [16] konnte ein Vorteil für die lokale Katheterlyse, ob mit oder ohne Ultraschallverstärkung gefunden werden (**Tab. 4**). Diese Ergebnisse sind allerdings als Hypothese-generierend zu interpretieren, da es sich um nicht randomisierte Daten handelt.

Eine randomisierte Studie verglich die lokale Standard-KTL mit der ultraschallassistierten Thrombolyse (USAT) und fand keinen Vorteil zugunsten der USAT hinsichtlich der Wirksamkeit [14]. Mit beiden Techniken konnten eine Reduktion der Thrombuslast in der CTPA sowie eine signifikante Reduktion der RV-Größe (sekundärer Endpunkt) erzielt werden. Die Blutungsraten wiesen keine signifikanten Unterschiede auf, der Krankenhausaufenthalt war länger für USAT. Die Ergebnisse sind allerdings angesichts der fehlenden Standardisierung der Standard-KTL mit großer Vorsicht zu interpretieren [15]. Aktuell untersucht eine laufende große randomisierte Studie mit klinischen Endpunkten die

Tab. 4 Nicht randomisierte Studien zur interventionellen Kathetertherapie der akuten LE

Intervention	Art der Studie (Akronym)	Erstautor	Jahr	Kollektiv	Ergebnis
Lokale Katheterlyse	Multizentrische prospektive, einarmige Kohortenstudie	Bashir R et al. [39]	2022	Intermediär-hohes Risiko (n = 109)	RV/LV-Ratio: -33 % (schwerwiegende Blutung: 1 %)
Lokale Katheterlyse	Metaanalyse	Pasha AK et al. [35]	2021	8 Beobachtungsstudien, (n = 11.932)	Hospitalletalität: RR 0,52 Intrakranielle Blutung: RR 0,66
Lokale Katheterlyse und USAT	Prospektives multizentrisches Register (PERFECT)	Kuo WT et al. [16]	2015	101 Patienten mit „massiver“ (hohes Risiko; n = 28) oder „submassiver“ (intermediär-hohes Risiko; n = 73) LE 64 % erhielten Standard-KTL, 36 % USAT	Klinischer Erfolg in 86 % (hohes Risiko) bzw. 97 % (intermediär-hohes Risiko) der Fälle Signifikante Reduktion des PA-Druckes Keine schwerwiegenden Blutungen
Ultraschallverstärkte Lyse	Prospektive, einarmige Kohortenstudie (SEATTLE-II)	Piazza G et al. [33]	2015	Intermediär-hohes Risiko (n = 150)	RV/LV-Ratio: -0,32 (p < 0,0001), mittlerer systolischer PA-Druck -15 mm Hg (p < 0,0001)
	Prospektive, einarmige Kohortenstudie	Klein F et al. [40]	2022	Intermediär-hohes Risiko (n = 51)	RV/LV-Ratio: USAT (11 mg rt-PA in 15 h) -0,17 (p < 0,001), mittlerer systolischer PA-Druck -15 mm Hg (p < 0,001). Transfusionspflichtige Blutungen (n = 6), kein Schlaganfall, kein Myokardinfarkt, keine RV-De-kompensation, keine Rezidiv-LE Nach 3 Monaten: 73 % mit normaler RV-Funktion, mittlere RV/LV-Ratio 0,75 ± 0,03 (p < 0,0001)
	Prospektive, randomisierte vierarmige Kohortenstudie (OPTALYSE)	Tapson VF et al. [34]	2018	Intermediär-hohes Risiko (n = 101)	USAT mit 1 mg/h pro Lungenarterie über 4 h vergleichbar effektiv und sicher wie doppelte Dosierung in halber Zeit Verbesserung von RV-Funktion und Thrombuslast nach 48 h Intrakranielle Blutung: ca. 1 %
Thrombusaspiration	Prospektives Register (FLASH)	Toma C et al. [41]	2022	Intermediär-hohes Risiko (n = 250)	Mittlerer PA-Druck -7,1 mm Hg (-22 %) während der Intervention (p < 0,001) 30-Tages-Gesamtmortalität 0,4 %
Thrombusaspiration	Prospektive, einarmige Kohortenstudie (EXTRACT-PE)	Sista AK et al. [36]	2021	Intermediär-hohes Risiko (n = 119)	RV/LV-Ratio: -27 %
Thrombusaspiration	Multizentrische prospektive, einarmige Kohortenstudie (FLARE)	Tu T et al. [37]	2019	Intermediär-hohes Risiko (n = 106)	RV/LV-Ratio -25 %, mittlerer PA-Druck -3,2 mm Hg, MAE: 3,8 % Schwerwiegende Blutungen: 1 %

IHR intermediär-hohes Risiko, **CTPA** computertomographische Pulmonalarterienangiographie, **KTL** kathetergestützte Thrombolysen, **LE** Lungenembolie, **MAE** „major adverse events“ (schwerwiegende unerwünschte Ereignisse), **LV** linksventrikulär, **PA** pulmonalarteriell, **RR** relatives Risiko, **RV** rechtsventrikulär, **USAT** ultraschallassistierte (kathetergestützte) Thrombolysen

Wirksamkeit und Sicherheit eines standardisierten Protokolls der ultraschallassistierten KTL bei akuter LE intermediär-hohen Risikos. In dieser Studie erhält der Kontrollarm lege artis Heparinantikogulation, den aktuell empfohlenen „Standard“ in der Behandlung dieser LE-Risikokategorie [10].

Im Hinblick auf die kathetergestützte Aspiration – mit oder ohne Fragmentierung – des thrombotischen Materials aus den Pulmonalarterien liegen aktuell noch

keine kontrollierten Daten vor. Der Einsatz des Indigo-Thrombektomie-Systems führte in einer multizentrischen prospektiven (einarmigen) Kohortenstudie zu einer Verbesserung von Surrogatparametern der RV-Funktion bei 119 Patienten mit LE intermediären Risikos [36]. Unter Einsatz des Flowtrier-Systems wurde in einer multizentrischen einarmigen Studie (n = 106) eine schnelle Verbesserung von Surrogatparametern der RV-Funktion bei

insgesamt niedriger Komplikationsrate beobachtet ([37]; ■ Tab. 4).

Kernaussage 5

Die Indikation zu einer kathetergestützten Behandlung der akuten Lungenembolie setzt – wie jene zur intravenösen Thrombolysen – eine manifeste oder drohende Kreislaufinstabilität voraus. Es handelt sich daher um eine Akutsituation, sodass die Reperfusionstherapie (in Analogie zum akuten ST-Hebungsinfarkt) so zeitnah wie möglich nach Indikationsstellung beginnen sollte. Dazu kann die Patientenverlegung in ein Kranken-

Tab. 5 Überwachung von LE-Patienten in Abhängigkeit von ihrem Risiko		
Risiko	Versorgungsstufe	Monitoring
Hoch	Intensivstation, alternativ Schockraum	Kontinuierliches hämodynamisches Basismonitoring ^a
Intermediär-hoch	<i>Intermediate-Care</i> -Station, alternativ Beobachtungsstation	Diskontinuierliches hämodynamisches Basismonitoring
Intermediär-niedrig	Normalstationäre Behandlung	Kein hämodynamisches Basismonitoring notwendig
Niedrig	Ambulante Behandlung	Kein hämodynamisches Basismonitoring notwendig

^aCave: keine Punktionen von manuell nicht komprimierbaren Gefäßen

haus mit Interventionsmöglichkeit bedacht/ diskutiert werden.

Kernaussage 6

Eine Reperfusionstherapie mittels kathetergestützter Verfahren zur mechanischen Thrombusfragmentation/-aspiration, oder (gegebenenfalls) mittels operativer Embolektomie, ist zu erwägen a) bei manifester, therapieresistenter Kreislaufinstabilität, b) nach erfolgloser systemischer thrombolytischer Behandlung sowie c) im Falle von einem hohen Blutungsrisiko und Kontraindikation(en) gegen eine systemische Thrombolyse.

5. Periprozedurales Patientenmanagement

5.1 Begleitende Antikoagulation

Kathetergestützte Verfahren zur Behandlung einer akuten LE sollten grundsätzlich von parenteraler Antikoagulation mit unfraktioniertem oder niedermolekularem Heparin begleitet werden. Allerdings existieren derzeit im Hinblick auf die genaue periprozedurale Dosis des Antikoagulans bzw. die Zielwerte der Gerinnungsparameter noch keine standardisierten Protokolle. Diese werden aktuell in klinischen Studien validiert [10]. Wie in aktuellen Leitlinien betont wird, sollte mit der Heparintherapie so früh wie möglich, bereits bei Äußerung des klinischen Verdachts auf LE begonnen werden, ohne die definitive Bestätigung der Diagnose abzuwarten [1]. Eine kathetergestützte Thrombolyse, mit oder ohne Ultraschallunterstützung, dauert in der Regel mehrere Stunden und wird unter unfraktioniertem Heparin mit einer intravenösen Infusionsrate von 300–600 IE/h durchgeführt. Die genaue Dosis liegt im Ermessen der Untersucher und hängt unter anderem vom Körpergewicht, Alter und den Komorbiditäten („frailty“) der Patienten ab. Eine wirksame Steuerung kann über die aktivierte Gerinnungszeit („activated

clotting time“ [ACT]) gelingen. Die Umstellung auf therapeutische Antikoagulation mit unfraktioniertem Heparin intravenös, gesteuert über die aktivierte Thromboplastinzeit („activated thromboplastin time“ [aPTT]) oder die Anti-Faktor-Xa-Aktivität, oder mit niedermolekularem Heparin subkutan (ggf. gesteuert über die Anti-Xa-Aktivität) erfolgt in der Regel binnen 4 h nach Beendigung der kathetergestützten Lyse und Entfernung des Kathetermaterials. Bei Patienten mit absoluten Kontraindikationen gegen eine Antikoagulationsbehandlung (z. B. Tumor oder Trauma des zentralen Nervensystems, intrakranielle Blutung oder andere aktive schwere Blutung) sollten Systeme der mechanischen Thrombektomie (Aspiration mit oder ohne Fragmentierung) ohne Lyse und unter Verzicht auf periprozedurale Heparinabgabe eingesetzt werden.

5.2 Patientenmonitoring und Beurteilung des Reperfusionserfolgs

Das hämodynamische Basismonitoring von Patienten mit akuter LE richtet sich nach allgemeinen Expertenempfehlungen [42, 43] und hängt primär von der LE-Risikoklasse ab ([1]; ■ Tab. 5). Es sollte über die Notaufnahme, das Herzkatheterlabor oder die Radiologie – im Falle interventioneller Rekanalisationsverfahren – sowie auf der *Intermediate-Care*- oder der Intensivstation erfolgen.

Bei manifester oder drohender hämodynamischer Instabilität ist eine intensivmedizinische Überwachung notwendig. Bei kritisch kranken Patienten ohne Polytrauma kann die LE primär im Schockraum erstversorgt werden mit anschließender Verlegung auf die Intensivstation [44]. Bei akuter LE mit intermediär-hohem Risiko sollte die Überwachung auf einer *Intermediate-Care* (IMC) oder einer IMC-ähnlich strukturierten Beobachtungsstation erfolgen [1, 45] und in der Regel 2 bis

3 Tage dauern, um mögliche Zeichen einer hämodynamischen Dekompensation frühzeitig zu erkennen [1]. Zum hämodynamischen „Basismonitoring“ gehören die bettseitige klinische Inspektion, die – je nach Schweregrad und Progression der hämodynamischen Instabilität – invasive oder nichtinvasive Blutdruckmessung, das EKG-Monitoring, die Messung der arteriellen Sauerstoffsättigung sowie die Bestimmung des Laktatspiegels bzw. der Laktat-Clearance. Die regelmäßige, strukturierte Erfassung und Dokumentation der Vitalparameter (Bewusstseinsniveau, Atemfrequenz, Sauerstoffsättigung, Temperatur, systolischer arterieller Blutdruck, Herzfrequenz) ermöglicht eine standardisierte Verlaufsbeobachtung akut und kritisch kranker Patienten auf Intensiv- oder IMC-Stationen und wird bereits in allen Krankenhäusern in Großbritannien in der Form eines Scores (*National Early Warning Score* [NEWS]) als Frühwarnsystem eingesetzt [5]. Die prognostische Bedeutung und die therapeutischen Konsequenzen einer progredienten Verschlechterung von NEWS in der Akutphase einer LE intermediär-hohen Risikos werden derzeit in einer großen randomisierten Studie untersucht [10]. Schließlich gehört die fokussierte kardiale Ultraschallbildgebung zum erweiterten hämodynamischen Monitoring, das bei LE mit hohem Risiko mindestens 1-mal täglich erfolgen sollte. Sowohl eine rechts- als auch eine linksventrikuläre Beurteilung sowie die Evaluation des Volumenstatus unter anderem anhand der V. cava inferior sollten im Sinne eines ultraschallbasierten Monitorings durchgeführt werden [46, 47].

Kernaussage 7

Die Erfolgskriterien einer Behandlung der akuten Lungenembolie richten sich primär nach der Stabilisierung der klinischen (vitalen) und hämodynamischen Parameter. Echokardiographische Zeichen einer Verbes-

Tab. 6 Spezifikationen der mechanischen Unterstützungssysteme				
	Kanülierung	Größe des Zugangs	Fluss	Pumpengeschwindigkeit
ECMO (verschiedene Systeme)	Arteriell und venös femoral	Arteriell 14–23 F Venös 18–25 F	Max. 7,0l/min	Max. 5000 Umdrehungen/min
Impella RP®	Venös femoral	23 F	4,0l/min	Max. 33.000 Umdrehungen/min
ProtekDuo® mit TandemHeart®	Venös jugular	29–31 F	4,5l/min	Max. 7500 Umdrehungen/min

serung der rechtsventrikulären Funktion und Größe und ein fallender Laktat Spiegel sind dabei zu berücksichtigen. Die periprozedurale Reduktion der Thrombuslast in der radiologischen Bildgebung ist eine hilfreiche ergänzende Information, stellt aber per se keinen Erfolgsindikator dieser Therapie dar.

6. Mechanische Kreislaufunterstützung: Optionen und Indikationen

Bei akuter LE mit hohem Risiko kann es zu der Entwicklung eines obstruktiven Schocks bis hin zum Kreislaufkollaps mit Reanimationspflichtigkeit kommen. Für eine mechanische Kreislaufunterstützung besteht bei hohem Risiko eine schwache Klasse-IIb-Empfehlung bei niedriger Evidenzklasse C – in Verbindung mit einer chirurgischen oder interventionellen kathetergestützten Thrombektomie [1]. Für Patienten ohne die Option einer chirurgischen oder interventionellen Reperfusionstherapie wurde dagegen aufgrund der bis zur Leitlinienerstellung sehr schwachen Evidenz [48] keine Empfehlung ausgesprochen.

Die derzeit verfügbaren mechanischen Unterstützungssysteme für den RV und Pulmonalkreislauf werden in **Tab. 6** zusammengefasst. Eine Übersicht der aktuellen Datenlage zu der extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO) liefert eine Metaanalyse von 21 Studien mit insgesamt 635 Patienten. Diese zeigte eine Gesamtmortalität von 41,1% [49]. Die ECMO-Implantation erfolgte in 62,3% der Fälle unter Reanimation, in den übrigen Fällen lag „lediglich“ ein refraktärer obstruktiver Schock vor. Eine Reperfusionstherapie erhielten 57% der Patienten: 28,2% erhielten Thrombolyse, 11,5% kathetergestützte Intervention und 24,3% chirurgische Embolektomie. In ca. 50% der Fälle erfolgte die Reperfusionstherapie vor ECMO-Implantation. Die häufigste Komplikation war eine schwere (*major*) Blutung (28,6%) [49]. Eine retrospektive monozentrische Studie aus

Deutschland schloss insgesamt 119 Patienten ein und berichtete, dass 54 (45,4%) von ihnen den Krankenhausaufenthalt überlebten. Im Nachverfolgungszeitraum (mediane Dauer 54,5 Monate) starben weitere 9 Patienten (16,7%) [50].

Die Datenlage für andere mechanische Herzunterstützungssysteme ist deutlich limitierter. Für die RV mikroaxiale Pumpe Impella RP® (Abiomed, Inc, Danvers, MA, USA) konnten bisher einzelne Fallberichte zusammengefasst werden [51]. Diese lassen allenfalls die Machbarkeit dieses Verfahrens für LE vermuten. Ein weiterer Fallbericht beschreibt die RV-Unterstützung nach erfolgter kathetergestützter Thrombektomie mittels TandemHeart®-Pumpe (Cardiac Assist, Inc., Pittsburgh, PA, USA) über die Doppellumenkanüle ProtekDuo® (Liva Nova, London, UK) über einen jugulären Zugangsweg [52]. Der zuführende Anteil der Doppellumenkanüle aspiriert Blut im rechten Vorhof, beschleunigt es über eine extrakorporale Zentrifugalpumpe und führt das Blut über den distalen Schenkel derselben Kanüle in die Pulmonalarterie zurück [53]. Die beiden letztgenannten Verfahren sind mechanische rechtsventrikuläre Kreislaufunterstützungssysteme ohne Gasaustausch. Ferner wird bei diesen Verfahren die Obstruktion des kleinen Kreislaufs – im Gegensatz zur venoarteriellen ECMO – nicht umgangen.

Kernaussage 8

Eine mechanische Kreislaufunterstützung, insbesondere mittels venoarterieller extrakorporaler Membranoxygenierung (VA-ECMO), ist kein eigenständiges kausales Behandlungsverfahren für akute Lungenembolien mit Kreislaufinstabilität. Sie kann vielmehr in Kombination mit einer kathetergestützten Intervention oder operativen Embolektomie eingesetzt werden (Klasse IIb) [1]. Der ECMO-Einsatz kann helfen, die Zeit bis zur Reperfusion zu überbrücken und ggf. auch den Transport in ein geeignetes Zentrum zu ermöglichen.

7. Multidisziplinäres Management der Lungenembolie in der Akutphase

7.1. Lungenembolie-Teams: Zusammensetzung und Aktivierungsabläufe

In der Akutphase muss die LE schnellstmöglich erkannt, klassifiziert und behandelt werden. In den meisten Fällen befinden sich betroffene Patienten in dieser Phase in der Notaufnahme, *Chest Pain Unit*, *Coronary Care Unit* oder Intensivstation eines Krankenhauses. Es ist sinnvoll und zielführend, in dieser zeitkritischen Situation multidisziplinär zu handeln und lokale Standards für die Managementstrategie auszuarbeiten und abzustimmen. Tatsächlich empfehlen internationale Leitlinien und Positionspapiere die Etablierung multidisziplinärer LE-Teams für eine optimierte Entscheidungsfindung bei LE mit hohem und – in der Regel auch – intermediär-hohem Risiko [1, 5]. Diese Teams verfolgen dabei einen systembasierten Ansatz [54] und vereinen Spezialisten auf Facharzt-niveau aus der Kardiologie, Notfallmedizin, Intensivmedizin, Radiologie sowie Herz-, Thorax- und/oder Gefäßchirurgie gemeinsam – je nach lokaler Verfügbarkeit und Organisation – mit Pneumologie, interventioneller Radiologie oder Angiologie, Innerer Medizin und/oder Hämostaseologie und weiteren Fachdisziplinen (**Abb. 1**). Eine 24-h-Verfügbarkeit per Anwesenheits- oder Rufdienst ist dabei unbedingt erforderlich. Im Hochrisikobereich sind die Entscheidungen der LE-Teams so zeitkritisch, dass sie innerhalb weniger Minuten getroffen werden müssen. Aber auch bei intermediär-hohem Risiko sollte die Behandlungsstrategie unverzüglich festgelegt werden, insbesondere proaktiv für den Fall einer kurzfristigen Dekompensation.

In Nordamerika werden die multidisziplinären LE-Teams *Pulmonary Embolism*

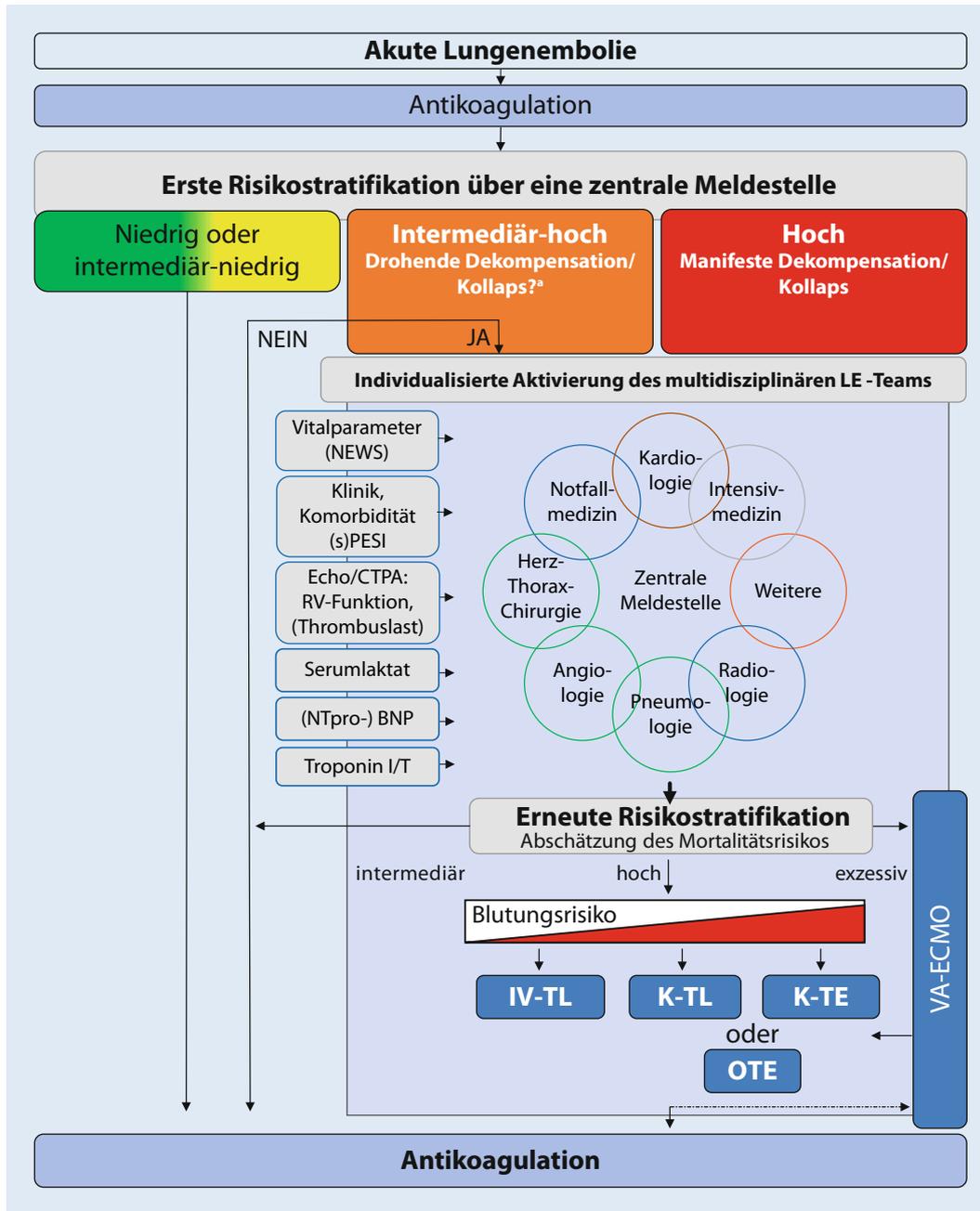


Abb. 1 ◀ . Vorschlag zum Aufbau, Aktivierungsprozess und Entscheidungskriterien multidisziplinärer Lungenembolie-Teams. Diese sind der jeweils vor Ort vorhandenen Expertise und Ressourcen anzupassen. ^²Abgeschätzt auf der Basis von Hämodynamik, Oxygenierung, Bildgebung & Labormarkern. PERT Pulmonary Embolism Response Team, NEWS National Early Warning Score, sPESI simplifizierter PESI-Score, RV rechtsventrikulär, LV linksventrikulär, IV-TL intravenöse Thrombolyse, K-TL katetergestützte Thrombolyse, K-TE katetergestützte Thrombektomie, OE operative Embolektomie, VA-ECMO venoarterielle extrakorporale Membranoxygenierung

Response Teams (PERT) genannt. Dort hat sich das PERT-Consortium™ (www.pertconsortium.org) zur Aufgabe gemacht, diese Teams zu vernetzen und ihre Organisation und standardisierten Abläufe zu evaluieren und weiterzuentwickeln [54, 55]. Regelmäßig werden Vorschläge für verbesserte Managementalgorithmen erarbeitet und kommuniziert [55]. In Deutschland und Europa befindet sich dieser Prozess noch in der Anfangsphase.

Kernaussage 9

Die Etablierung multidisziplinärer Lungenembolie-Teams in deutschen Krankenhäusern wird empfohlen (Klasse IIa) [1]. Sie verfolgen das übergeordnete Ziel, Therapieentscheidungen und ihre Umsetzung bei akuten, potenziell lebensbedrohlichen Lungenembolien (hohes und intermediär-hohes Risiko) zu koordinieren und zu beschleunigen. Dabei sollen die im jeweiligen Krankenhaus vorhandene Expertise und Ressourcen optimal eingesetzt und ggf. Kooperationspartner (z.B. virtuelle Konferenz) oder die Kriterien für eine Verlegung in ein geeignetes Zentrum festgelegt werden.

7.2. Lungenembolie-Teams: Entscheidungsfindung

Prinzipiell stehen dem multidisziplinären LE-Team die in **Tab. 7** aufgelisteten Therapiestrategien zur Verfügung. **Abb. 1** (die Zentralabbildung dieses Dokumentes) zeigt einen möglichen Ansatz, der die vorhandene Datenlage in den Kontext aktueller Empfehlungen setzt [1, 55]. Die zentrale Aufgabe des lokalen multidisziplinären LE-Teams sollte sein, einen auf die Gegebenheiten des jeweiligen Zentrums

Tab. 7 Aktuelle Therapiestrategien (adaptiert nach [55])			
Therapie	Charakteristika und Anforderungen	Risikoklasse, Thrombuslokalisierung	Bisherige Evidenz
Antikoagulation	Aktueller Standard In manchen Fällen nicht ausreichend	Alle	RCTs
Systemische Thrombolyse	Schnell Aktueller Standard Blutungsrisiko	(Intermediär-hoch) Hoch	RCTs
Kathetergestützte Thrombolyse	Set-up (Herzkathetermessplatz) erforderlich Blutungsrisiko (niedriger als bei systemischer Lyse)	(Intermediär-hoch) ^a Hoch Proximal und distal	Kleine Fallserien
Ultraschallassistierte (verstärkte) Katheterlyse	Set-up (Herzkathetermessplatz) erforderlich Spezielle Ausstattung (Kathetersystem) Blutungsrisiko (niedriger als bei systemischer Lyse)	(Intermediär-hoch) ^a Hoch Proximal und distal	Einarmlige Studien RCT mit Surrogat-Endpunkten
Kathetherthrombektomie	Set-up (Herzkathetermessplatz) erforderlich Spezielle Ausstattung (Kathetersysteme) Großlumiger Zugang, Lernkurve Blutungsrisiko (niedrig)	(Intermediär-hoch) ^a Hoch Proximal „reitende“ Thromben	Fallserien
Chirurgische Embolektomie	Set-up (kardiovaskuläre Chirurgie) Thorakotomie	(Intermediär-hoch) ^a Hoch Proximal „reitende“ Thromben	Fallserien
ECMO	Spezielle Ausstattung (VA-ECMO) erforderlich VA-ECMO-Erfahrung nötig ECMO keine kausale LE-Therapie (Überbrückung)	Hoch Proximal und distal	Fallserien

LE Lungenembolie, **RCT** randomisiert kontrollierte Studie(n), **(VA-)ECMO** (venoarterielle) extrakorporale Membranoxygenierung
^aNach aktuellen Leitlinienempfehlungen [1] keine primäre Option, sondern „Rescue“-Therapie bei Aggravation unter therapeutischer Antikoagulation

angepassten Standard zu entwickeln. Dabei sind auch Detailfragen zu berücksichtigen, beispielsweise ob die Gefäßpunktion standardmäßig unter Ultraschallkontrolle erfolgen soll. Auch die Dauer und das Ausmaß des kardiorespiratorischen Monitorings sollten in den standardisierten Abläufen festgelegt werden, ebenso der Zeitpunkt der Umstellung von einer parenteralen auf eine orale Antikoagulation. Auf Basis des lokalen standardisierten Protokolls wird dieses Team individuelle Empfehlungen formulieren, die von den primär Behandelnden umzusetzen sind.

Kernaussage 10

Die Aktivierung und Entscheidungsfindung innerhalb eines multidisziplinären Lungenembolie-Teams sollte entlang standardisierter Abläufe erfolgen. Diese müssen innerhalb des Krankenhauses und ggf. gegenüber zuweisenden oder aufnehmenden Krankenhäusern klar kommuniziert sein. Die im Konsens ausgewählte Behandlungsoption, ihre Rationale und ihre Umsetzung sind in der Patientenakte zu dokumentieren. Änderungen oder Abweichungen von der ursprünglich beschlossenen Behandlungsstrategie sollten ebenfalls begründet und dokumentiert werden.

7.3. Strukturierte Datenerhebung und Qualitätsmanagement: Aufbau eines prospektiven deutschen Lungenembolieresisters und Zertifizierung von Lungenemboliezentren

Aufgrund der unzureichenden Datenlage soll für die Zukunft unter DGK-Federführung ein bundesweites, prospektives LE-Register etabliert werden. Das übergeordnete Ziel dieses Registers ist die Abbildung der Versorgungsrealität von Patienten mit LE in Deutschland. Insbesondere sollen a) die leitlinienbasierte Versorgung, b) das risikoadaptierte Management und die darauf basierenden Therapiekonzepte (mit besonderem Fokus auf die Reperfusion- und begleitende Antikoagulationsbehandlung sowie ggf. die mechanische Kreislaufunterstützung), c) der klinische Verlauf der Patienten im Krankenhaus und d) prädefinierte klinische Endpunkte dokumentiert werden. Ein Fokus soll dabei auf die Evaluation neuer katheterbasierter Therapieverfahren bei Patienten mit LE mit intermediär-hohem bzw. hohem Risiko als Alternative zur Lysetherapie gelegt werden. Konkret sollen aber auch Zuweiserstrukturen erfasst werden (spezi-

elle Zuweisung für die Therapie der LE). Ferner werden klinische, bildgebende und laborchemische Parameter prospektiv erfasst und evaluiert, welche möglicherweise zu einer besseren Definition und Charakterisierung der Patienten mit intermediär-hohem Risiko beitragen können. Zudem sollen durch die strukturierte Erfassung klinischer Daten neue Behandlungsstrategien unabhängig wissenschaftlich begleitet werden. Schließlich soll die Etablierung multidisziplinärer LE-Teams (PERT) bewertet werden. Diese Initiative zielt auf eine kontinuierliche Prozessoptimierung in der Diagnostik und Therapie der akuten LE ab. Da die derzeitige Evidenz noch keine Basis für eine eigenständige Zertifizierung von LE-Zentren mit dem Ziel einer qualitativ hochwertigen Behandlung bietet, soll zunächst ein zusätzliches Modul für den Themenkomplex der LE im Rahmen der Zertifizierung von Chest Pain Units angeboten werden.

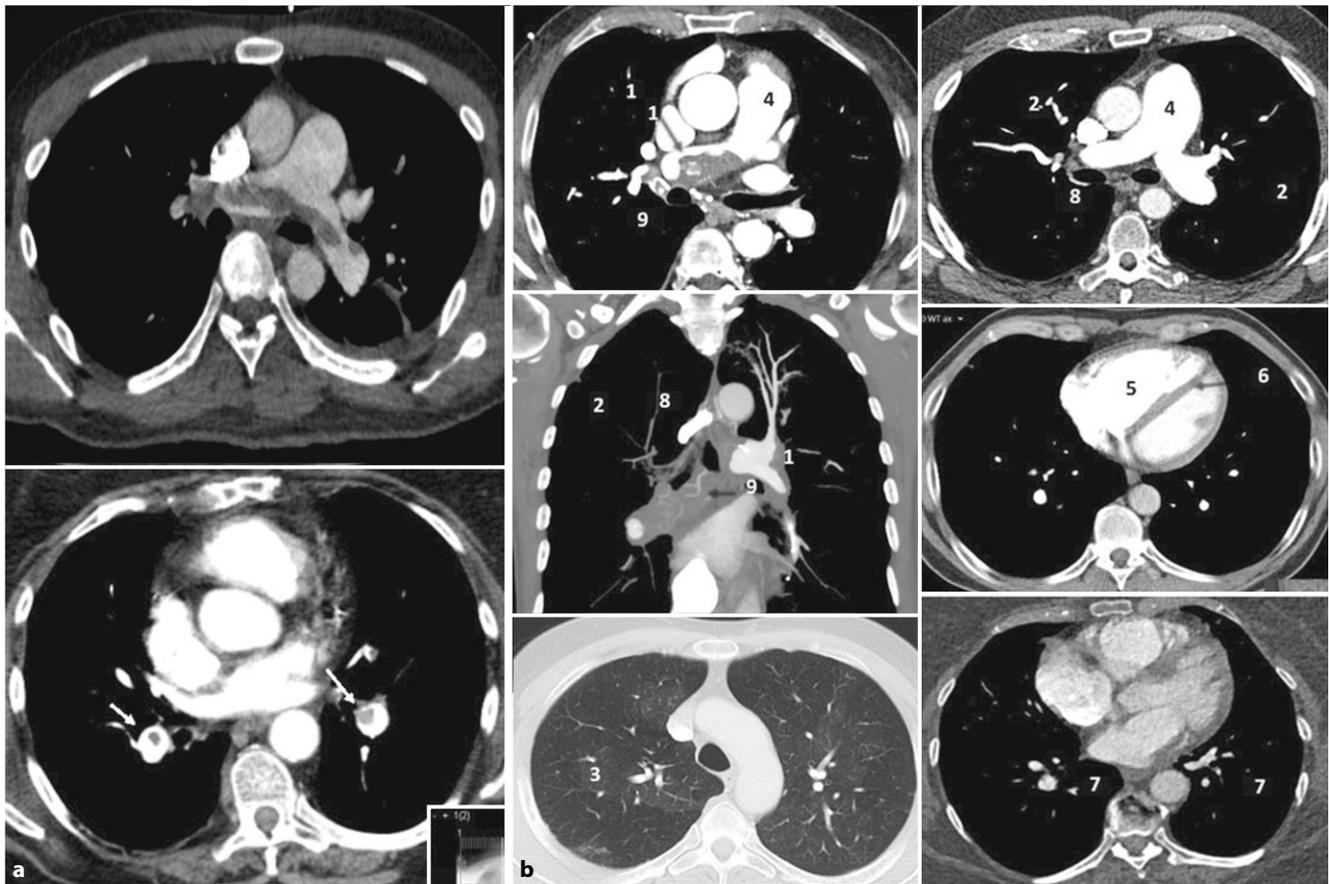


Abb. 2 ▲ Akute Lungenarterienembolie mit intraluminalen Thromben und Gefäßverschluss (a) vs. chronisch thromboembolische pulmonale Hypertonie (b). 1 exzentrische Wandauflagerungen, zum Teil mit Kalzifizierungen, 2 Gefäßverschlüsse mit Perfusionsdefekten, 3 Mosaikperfusion des Lungenparenchyms, 4 Dilatation des Truncus pulmonalis, 5 Rechtsherzvergrößerung mit rechts-/linksventrikulärem (RV/LV) Durchmesser Verhältnis > 1,0, 6 abgeflachtes LV-Septum, 7 intraluminaler Netze, sog. „Webs“, 8 arterielle Retraktion, 9 dilatierte Bronchialarterien

8. Von der akuten zur chronischen Lungenembolie

8.1. Differenzialdiagnostik und -therapie der akuten, chronischen und akut-auf-chronischen Lungenembolie

Bei Diagnosestellung einer LE stellt sich neben der Risikoeinschätzung auch die Frage, ob es sich um eine „reine“ akute LE handelt oder ob eine vorbestehende chronisch thromboembolische pulmonale Hypertonie (CTEPH) besteht, die sich im Falle einer Dekompensation wie eine akute LE präsentieren kann [56]. Zusätzlich ist an eine „akut-auf-chronische“ LE zu denken [57]. Typische CTEPH-Befunde entsprechen solidem Narbenmaterial, das – bei fehlenden frischen thromboembolischen Anteilen – mit den oben beschriebenen, für die akute LE geeigneten ka-

thetergestützten Verfahren nicht behandelbar ist. Zur Differenzierung müssen die Klinik und die Bildgebung richtig interpretiert werden. Bisher werden jedoch bei der Fragestellung LE in radiologischen Befunden die Zeichen einer chronisch thromboembolischen Erkrankung immer noch zu selten identifiziert [58]. Hinweise für das mögliche Vorliegen einer chronischen LE oder CTEPH sind Zeichen einer chronischen Rechtsherzbelastung in der Echokardiographie [1, 59] sowie typische CTPA-Befunde ([60, 61]; ■ Abb. 2).

Die CTPA ist die Methode der Wahl für die Darstellung des Lungengefäßsystems bei Verdacht auf LE. Typische Zeichen einer akuten LE in der CTPA sind intraluminales Thrombusmaterial und komplette Gefäßverschlüsse ggf. mit Rechtsherzbelastungszeichen (■ Abb. 2a). Im Vergleich sind typische Zeichen der CTEPH in ■ Abb. 2b dargestellt. Bei Befall des Pulmo-

nararterienhauptstamms ist differenzialdiagnostisch auch an ein Sarkom zu denken.

Bei Bestätigung einer CTEPH sind Therapieentscheidungen von der Bildgebung abhängig, dabei sind eine qualitativ hochwertige Geräteausstattung, Kenntnisse in der spezifischen Diagnostik und Expertise in der CTEPH-Befundung erforderlich. Daher sollte in diesen Fällen die weitere Diagnostik und Therapieplanung in einem CTEPH-Expertenzentrum erfolgen [59, 62].

8.2. Verlaufsbeobachtung zur Frühdetektion von Spätfolgen

Nach einer akuten LE wird eine CTEPH in 0,5–4% der Fälle diagnostiziert [63, 64] und ist somit eine relativ seltene LE-Spätfolge. Zu den Risikofaktoren für die Entwicklung einer CTEPH gehören Splenektomie, infizierte Herzschrittmachersonden, ventrikuloatriale Shunts, chronisch entzündliche

oder myeloproliferative Erkrankungen, das Antiphospholipidsyndrom sowie Hypothyreose behandelt mit Schilddrüsenhormonen [1]. Im Vergleich dazu stellt eine persistierende Belastungseinschränkung und/oder reduzierte Lebensqualität mit knapp 50 % eine häufige Langzeitkomplikation der akuten LE dar [63, 65, 66]. Mögliche Ursachen einer anhaltenden Belastungsdyspnoe unter therapeutischer Antikoagulation können chronische, nicht aufgelöste Thromben in den Lungen sein, welche allerdings auch bei vielen asymptomatischen Patienten nachweisbar sind [67]. Auf der anderen Seite können objektifizierbare Einschränkungen der Leistungsfähigkeit auch ohne Nachweis einer chronischen LE persistieren [68]. Hierfür könnten beispielsweise eine depressive Störung und/oder Angststörung nach dem traumatischen Erlebnis der stattgehabten akuten LE oder auch ein Trainingsmangel durch körperliche Schonung mitverantwortlich sein. Um mögliche Langzeitfolgen einer akuten LE frühzeitig zu erkennen, empfehlen aktuelle LE-Leitlinien eine ambulante Vorstellung und Nachsorge aller Patienten nach 3- bis 6-monatiger therapeutischer Antikoagulation [1]. Entsteht angesichts der klinischen, echokardiographischen oder ggf. funktionellen (Spiroergometrie) oder laborchemischen Befunde (erhöhter Spiegel natriuretischer Peptide) Verdacht auf chronische LE bzw. CTEPH, sollte dieser mittels Ventilations-Perfusions-Szintigraphie verstärkt oder verworfen werden, und die ggf. notwendige weitere Diagnosesicherung und Therapieplanung sollten in einem CTEPH-Expertenzentrum erfolgen.

Kernaussage 11

Im Rahmen der radiologischen Bildgebung (computertomographische Pulmonalarterienangiographie) in der akuten Lungenemboliediagnostik ist es ratsam, auch nach Hinweisen auf eine vorbestehende chronisch thromboembolische pulmonale Hypertonie (CTEPH) zu suchen. Falls eine akut-auf-chronische Lungenembolie vorliegt, sollte in der Akutphase eine risikoadaptierte Therapie der Lungenembolie erfolgen und eine CTEPH-Diagnostik und -Therapie im Intervall, nach 3- bis 6-monatiger Antikoagulation veranlasst werden. Diese sollte in einem CTEPH-Expertenzentrum erfolgen.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Mit einer Verzögerung von mehreren Jahren gegenüber dem akuten Myokardinfarkt und dem ischämischen Schlaganfall hat seit einigen Jahren auch für die akute LE das Zeitalter der interventionellen Behandlung in Form einer pharmakomechanischen oder rein mechanischen Thrombektomie begonnen. Die systemische Thrombolyse ist nach wie vor Goldstandard bei Patienten mit hohem Risiko (Klasse I). Die technologischen Innovationen und die wachsenden Investitionen seitens der Industrie in diesem Bereich werden von der medizinischen Gemeinschaft, den Patienten und nicht zuletzt der Gesundheitspolitik mit großem Interesse verfolgt. Um einen überzeugenden, nachhaltigen Fortschritt in der Behandlung von Patienten mit akuter LE mit hohem und intermediär-hohem Risiko zu erzielen, müssen die neuen Verfahren allerdings in kontrollierten Studien auf ihren klinischen Zusatznutzen getestet und erfolgreich validiert werden. Dies geschieht bereits in laufenden multinationalen randomisierten Studien, welche nicht nur die Mortalität oder hämodynamische Dekompensation in den ersten Tagen nach Diagnose, sondern auch die langfristige Verhinderung von Funktionseinschränkungen sowie die Verbesserung der Lebensqualität im Fokus haben. Parallel dazu vollzieht sich an deutschen Krankenhäusern eine Erweiterung der Therapiemöglichkeiten von Patienten mit akuter LE und erhöhtem Risiko. Die flächendeckende Etablierung multidisziplinärer LE-Teams mit klarer Organisation und standardisierten Abläufen kann den Einsatz der im jeweiligen Krankenhaus vorhandenen Behandlungsoptionen optimieren und für einen zukunftsorientierten und gleichermaßen angemessenen Verbrauch von Ressourcen auf Basis der vorhandenen Evidenz sorgen. Nicht zuletzt sollen die Vernetzung der LE-Teams und ihre Teilnahme an einem deutschlandweiten prospektiven Register sowie an multizentrischen kontrollierten Studien zu einer verbesserten Evidenzlage und somit zur Weiterentwicklung des gesamten Konzeptes der risikoadaptierten LE-Behandlung beitragen.

Korrespondenzadresse



Prof. Dr. Alexander Ghanem

Abteilung für Kardiologie, Asklepios Klinik Nord – Heidberg
Tangstedter Landstr. 400, 22417 Hamburg, Deutschland
aghanem@web.de



Prof. Dr. Stavros Konstantinides

Centrum für Thrombose und Hämostase, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Langenbeckstr. 1, 55131 Mainz, Deutschland
stavros.konstantinides@unimedizin-mainz.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A. Ghanem ist gewählter Sprecher der Arbeitsgruppe Interventionelle Kardiologie (AGIK) der DGK und erhielt Honorare für Vortragstätigkeiten von Bristol Myers Squibb und Boston Scientific. Alle potenziellen Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. D. Dürschmied hat Honorare für Vorträge und Beratungstätigkeiten von Boston Scientific, Bayer Healthcare, Daiichi Sankyo und BMS/Pfizer erhalten. G. Michels ist Past-Sprecher der Arbeitsgruppe Kardiopulmonale Reanimation (AG42) und stellvertretender Sprecher des Cluster A: Kardiovaskuläre Akut- und Intensivmedizin der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie e. V. (DGK); er erhielt Honorare für Vortragstätigkeiten von Getinge, AOP Orphan Pharmaceuticals Germany GmbH und Orion Pharma sowie Drittmittel von der Kardiologischen Versorgungsforschung der DGK e. V. (DGK-ZfKVF). Alle Interessenkonflikte stehen in keinem Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit. T. Geisler ist Sprecher der Arbeitsgruppe Kardiovaskuläre Hämostase und antithrombotische Therapie (AG19), er erhielt Vortragshonorare und Forschungsunterstützung von Bristol Myers Squibb, Bayer, Daiichi Sankyo und Medtronic. T.J. Lange hat in den letzten 24 Monaten Honorare für Vortrags- und/oder

Beratungstätigkeit erhalten von Acceleron, Bayer, Gossamer Bio, GSK, Janssen Cilag, MSD, Orphacare und Pfizer. S. Konstantinides erhielt Honorare für wissenschaftliche Vorträge und Beratung von Bayer AG, Boston Scientific, Daiichi Sankyo, Pfizer – Bristol Myers Squibb sowie Forschungsförderung (über die Universitätsmedizin Mainz) durch Bayer AG, Daiichi Sankyo. M. Andrassy, G. Fürnau, M. Hennesdorf, M. Knorr, A. Masri-Zada, S. Rosenkranz, P.C. Schulze, T. Tichelbäcker, C. Tiefenbacher und H. Wilkens geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Literatur

- Konstantinides SV, Meyer G, Becattini C, Bueno H, Geersing GJ, Harjola VP et al (2020) 2019 ESC guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European respiratory society (ERS). *Eur Heart J* 41(4):543–603
- Barco S, Ende-Verhaar YM, Becattini C, Jimenez D, Lankeit M, Huisman MV et al (2018) Differential impact of syncope on the prognosis of patients with acute pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J* 39(47):4186–4195
- Becattini C, Vedovati MC, Pruszczyk P, Vanni S, Cotugno M, Cimini LA et al (2018) Oxygen saturation or respiratory rate to improve risk stratification in hemodynamically stable patients with acute pulmonary embolism. *J Thromb Haemost* 16(12):2397–2402
- Kostrubiec M, Plywaczewska M, Jimenez D, Lankeit M, Ciurzynski M, Konstantinides S et al (2019) The prognostic value of renal function in acute pulmonary embolism—a multi-centre cohort study. *Thromb Haemost* 119(1):140–148
- Pruszczyk P, Klok FA, Kucher N, Roik M, Meneveau N, Sharp ASP et al (2022) Percutaneous treatment options for acute pulmonary embolism: a clinical consensus statement by the ESC working group on pulmonary circulation and right ventricular function and the European association of Percutaneous cardiovascular interventions. *EuroIntervention* 18(8):e623–e38
- Meyer G, Vicaut E, Danays T, Agnelli G, Becattini C, Beyer-Westendorf J et al (2014) Fibrinolysis for patients with intermediate-risk pulmonary embolism. *N Engl J Med* 370(15):1402–1411
- Barco S, Vicaut E, Klok FA, Lankeit M, Meyer G, Konstantinides SV et al (2018) Improved identification of thrombolysis candidates amongst intermediate-risk pulmonary embolism patients: implications for future trials. *Eur Respir J* 51(1):1701775
- Liu VX, Lu Y, Carey KA, Gilbert ER, Afshar M, Akel M et al (2020) Comparison of early warning scoring systems for hospitalized patients with and without infection at risk for in-hospital mortality and transfer to the intensive care unit. *JAMA Netw Open* 3(5):e205191
- Sanchez O, Charles-Nelson A, Ageno W, Barco S, Binder H, Chatellier G et al (2022) Reduced-dose intravenous thrombolysis for acute intermediate-high-risk pulmonary embolism: rationale and design of the Pulmonary Embolism International Thrombolysis (PEITHO)-3 trial. *Thromb Haemost* 122(5):857–866
- Klok FA, Piazza G, Sharp ASP, Ainle NF, Jaff MR, Chauhan N et al (2022) Ultrasound-facilitated, catheter-directed thrombolysis vs anticoagulation alone for acute intermediate-high-risk pulmonary embolism: rationale and design of the HI-PEITHO study. *Am Heart J* 251:43–53
- Daniels LB, Parker JA, Patel SR, Grodstein F, Goldhaber SZ (1997) Relation of duration of symptoms with response to thrombolytic therapy in pulmonary embolism. *Am J Cardiol* 80(2):184–188
- Marti C, John G, Konstantinides S, Combescure C, Sanchez O, Lankeit M et al (2015) Systemic thrombolytic therapy for acute pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J* 36(10):605–614
- Meneveau N, Seronde MF, Blonde MC, Legalery P, Didier-Petit K, Briand F et al (2006) Management of unsuccessful thrombolysis in acute massive pulmonary embolism. *Chest* 129(4):1043–1050
- Avgerinos ED, Jaber W, Lacomis J, Markel K, McDaniel M, Rivera-Lebron BN et al (2021) Randomized trial comparing standard versus ultrasound-assisted thrombolysis for submassive pulmonary embolism: the SUNSET sPE trial. *JACC Cardiovasc Interv* 14(12):1364–1373
- Sista AK (2021) Is it time to sunset ultrasound-assisted catheter-directed thrombolysis for submassive PE? *JACC Cardiovasc Interv* 14(12):1374–1375
- Kuo WT, Banerjee A, Kim PS, DeMarco FJ Jr., Levy JR, Facchini FR et al (2015) Pulmonary embolism response to fragmentation, embolectomy, and catheter thrombolysis (PERFECT): initial results from a prospective multicenter registry. *Chest* 148(3):667–673
- Macovei L, Presura RM, Magopet R, Prisecariu C, Macovei C, Omete G et al (2020) Local thrombolysis in high-risk pulmonary embolism-13 years single-center experience. *Clin Appl Thromb Hemost* 26:1076029620929764
- Giri J, Sista AK, Weinberg I, Kearon C, Kumbhani DJ, Desai ND et al (2019) Interventional therapies for acute pulmonary embolism: current status and principles for the development of novel evidence: a scientific statement from the American heart association. *Circulation* 140(20):e774–e801
- Sulimov DS, Freund A, Thiele H (2021) Catheter-directed therapy in pulmonary embolism. *Herz* 46(5):399–405
- Schmitz-Rode T, Janssens U, Duda SH, Erley CM, Gunther RW (2000) Massive pulmonary embolism: percutaneous emergency treatment by pigtail rotation catheter. *J Am Coll Cardiol* 36(2):375–380
- Bayiz H, Dumantepe M, Teymen B, Uyar I (2015) Percutaneous aspiration thrombectomy in treatment of massive pulmonary embolism. *Heart Lung Circ* 24(1):46–54
- Dumantepe M, Teymen B, Akturk U, Seren M (2015) Efficacy of rotational thrombectomy on the mortality of patients with massive and submassive pulmonary embolism. *J Card Surg* 30(4):324–332
- Mohan B, Aslam N, Kumar Mehra A, Takkar Chhabra S, Wander P, Tandon R et al (2014) Impact of catheter fragmentation followed by local intrapulmonary thrombolysis in acute high risk pulmonary embolism as primary therapy. *Indian Heart J* 66(3):294–301
- Tajima H, Murata S, Kumazaki T, Nakazawa K, Abe Y, Komada Y et al (2004) Hybrid treatment of acute massive pulmonary thromboembolism: mechanical fragmentation with a modified rotating pigtail catheter, local fibrinolytic therapy, and clot aspiration followed by systemic fibrinolytic therapy. *AJR Am J Roentgenol* 183(3):589–595
- Kumar N, Janjigian Y, Schwartz DR (2007) Paradoxical worsening of shock after the use of a percutaneous mechanical thrombectomy device in a postpartum patient with a massive pulmonary embolism. *Chest* 132(2):677–679
- Nakazawa K, Tajima H, Murata S, Kumita SI, Yamamoto T, Tanaka K (2008) Catheter fragmentation of acute massive pulmonary thromboembolism: distal embolisation and pulmonary arterial pressure elevation. *Br J Radiol* 81(971):848–854
- Bonvini RF, Roffi M, Bounameaux H, Noble S, Muller H, Keller PF et al (2013) AngioJet rheolytic thrombectomy in patients presenting with high-risk pulmonary embolism and cardiogenic shock: a feasibility pilot study. *EuroIntervention* 8(12):1419–1427
- Li K, Cui M, Zhang K, Liang K, Liu H, Zhai S (2021) Treatment of acute pulmonary embolism using rheolytic thrombectomy. *EuroIntervention* 17(2):e158–e66
- Donaldson CW, Baker JN, Narayan RL, Provias TS, Rassi AN, Giri JS et al (2015) Thrombectomy using suction filtration and veno-venous bypass: single center experience with a novel device. *Catheter Cardiovasc Interv* 86(2):E81–7
- Moriarty JM, Al-Hakim R, Bansal A, Park JK (2016) Removal of caval and right atrial thrombi and masses using the AngioVac device: initial operative experience. *J Vasc Interv Radiol* 27(10):1584–1591
- Moriarty JM, Liao M, Kim GHJ, Yang E, Desai K, Ranade M et al (2022) Procedural outcomes associated with use of the AngioVac system for right heart thrombi: a safety report from RAPID registry data. *Vasc Med* 27(3):277–282
- Kucher N, Boekstegers P, Muller OJ, Kupatt C, Beyer-Westendorf J, Heitzer T et al (2014) Randomized, controlled trial of ultrasound-assisted catheter-directed thrombolysis for acute intermediate-risk pulmonary embolism. *Circulation* 129(4):479–486
- Piazza G, Hohlfelder B, Jaff MR, Ouriel K, Engelhardt TC, Sterling KM et al (2015) A prospective, single-arm, multicenter trial of ultrasound-facilitated, catheter-directed, low-dose fibrinolysis for acute massive and submassive pulmonary embolism: the SEATTLE II study. *JACC Cardiovasc Interv* 8(10):1382–1392
- Tapson VF, Sterling K, Jones N, Elder M, Tripathy U, Brower J et al (2018) A randomized trial of the optimum duration of acoustic pulse thrombolysis procedure in acute intermediate-risk pulmonary embolism: the OPTALYSE PE trial. *JACC Cardiovasc Interv* 11(14):1401–1410
- Pasha AK, Siddiqui MU, Siddiqui MD, Ahmed A, Abdullah A, Riaz I et al (2022) Catheter directed compared to systemically delivered thrombolysis for pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *J Thromb Thrombolysis* 53(2):454–466
- Sista AK, Horowitz JM, Tapson VF, Rosenberg M, Elder MD, Schiro BJ et al (2021) Indigo aspiration system for treatment of pulmonary embolism: results of the EXTRACT-PE trial. *JACC Cardiovasc Interv* 14(3):319–329
- Tu T, Toma C, Tapson VF, Adams C, Jaber WA, Silver M et al (2019) A prospective, single-arm, multicenter trial of catheter-directed mechanical thrombectomy for intermediate-risk acute pulmonary embolism: the FLARE study. *JACC Cardiovasc Interv* 12(9):859–869
- Kroupa J, Buk M, Weichet J, Malikova H, Bartova L, Linkova H et al (2022) A pilot randomised trial of catheter-directed thrombolysis or standard anticoagulation for patients with intermediate-

- high risk acute pulmonary embolism. *Euro-Intervention* 18(8):e639–e46
39. Bashir R, Foster M, Iskander A, Darki A, Jaber W, Rali PM et al (2022) Prospective multicenter trial of pharmacomechanical-catheter-directed thrombolysis with the Bashir endovascular catheter for acute pulmonary embolism. *JACC Cardiovasc Interv* 15(23):2427–2436
 40. Klein F, Mobius-Winkler S, Baz L, Pfeifer R, Fritzenwanger M, Heymel S et al (2022) EKOS Jena experience: safety, feasibility, and midterm outcomes of percutaneous ultrasound-assisted catheter-directed thrombolysis in patients with intermediate-high-risk or high-risk pulmonary embolism. *Can Respir J* 2022:7135958
 41. Toma C, Bunte MC, Cho KH, Jaber WA, Chambers J, Stegman B et al (2022) Percutaneous mechanical thrombectomy in a real-world pulmonary embolism population: interim results of the FLASH registry. *Catheter Cardiovasc Interv* 99(4):1345–1355
 42. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, Beale R, Bakker J, Hofer C et al (2014) Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. Task force of the European society of intensive care medicine. *Intensive Care Med* 40(12):1795–1815
 43. Cecconi M, Hernandez G, Dunser M, Antonelli M, Baker T, Bakker J et al (2019) Fluid administration for acute circulatory dysfunction using basic monitoring: narrative review and expert panel recommendations from an ESICM task force. *Intensive Care Med* 45(1):21–32
 44. Bernhard M, Kumle B, Dodt C, Graff I, Michael M, Michels G et al (2022) Care of critically ill nontrauma patients in the resuscitation room. *Notfall Rettungsmed.* <https://doi.org/10.1007/s10049-022-00997-y>
 45. Michels G, Wrede C, Busch HJ, Brachmann M, Pin M, Dormann H et al (2022) Definition of the bed-guiding ward in an emergency department: expert consensus statements for clinical acute and emergency medicine. *Notfall Rettungsmed.* <https://doi.org/10.1007/s10049-022-01009-9>
 46. Hempel D, Pfister R, Michels G (2016) Hemodynamic monitoring in intensive care and emergency medicine. Integration of clinical signs and ultrasound findings. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 111(7):596–604
 47. Adler C, Treskatsch S, Pfister R, Michels G (2019) Estimation of preload dependency in intensive care medicine—step by step. *Dtsch Med Wochenschr* 144(5):340–345
 48. Meneveau N, Guillon B, Planquette B, Piton G, Kimmoun A, Gaide-Chevronnay L et al (2018) Outcomes after extracorporeal membrane oxygenation for the treatment of high-risk pulmonary embolism: a multicentre series of 52 cases. *Eur Heart J* 39(47):4196–4204
 49. Baldetti L, Beneduce A, Cianfanelli L, Falasconi G, Pannone L, Moroni F et al (2021) Use of extracorporeal membrane oxygenation in high-risk acute pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *Artif Organs* 45(6):569–576
 50. Stadlbauer A, Philipp A, Blecha S, Lubnow M, Lunz D, Li J et al (2021) Long-term follow-up and quality of life in patients receiving extracorporeal membrane oxygenation for pulmonary embolism and cardiogenic shock. *Ann Intensive Care* 11(1):181
 51. Zuin M, Rigatelli G, Daggubati R, Nguyen T, Roncon L (2020) Impella RP in hemodynamically

Interventional treatment and multidisciplinary management strategies for acute pulmonary embolism

Interventional treatment for acute pulmonary embolism (PE) offers great potential for reducing the morbidity and mortality in selected patients at intermediate-high and high risk. This policy paper summarizes the current scientific data. Furthermore, clinical decision making is supported by means of key statements and flow charts consented by the expert authors. Patients with acute pulmonary embolism at intermediate-high or high risk should therefore be presented to a multidisciplinary PE-Team for risk stratification immediately after diagnosis. Local expertise and resources should be taken into account when proactively building the team. The establishment of multidisciplinary PE-Team with a clear organization and standardized processes can improve the use of locally available treatment options. The aim of the PE-Team is repetitive risk-benefit analyses of net clinical benefit, taking into account PE severity, evolution of hemodynamics and gas exchange over time, as well as the benefit-risk ratio of any intervention (pharmacodynamic, catheter-based, surgical). Catheter-based, interventional treatment of acute pulmonary embolism should be considered in the case of manifest, treatment refractory circulatory instability, after unsuccessful systemic thrombolytic treatment as well as in the case of a high risk of bleeding and contraindication(s) to systemic thrombolysis. The final decision for or against interventions should be PE-Team-based.

Keywords

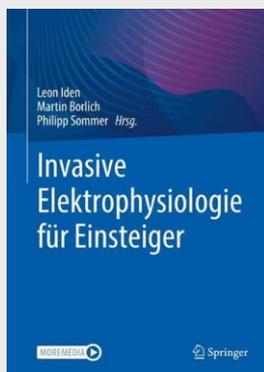
Pulmonary embolism · Reperfusion · Thrombectomy · Lysis

- cally unstable patients with acute pulmonary embolism. *J Artif Organs* 23(2):105–112
52. Aggarwal V, Einhorn BN, Cohen HA (2016) Current status of percutaneous right ventricular assist devices: first-in-man use of a novel dual lumen cannula. *Catheter Cardiovasc Interv* 88(3):390–396
 53. Oßwald A, Ruhparwar A, Schmack B (2020) TandemHeart: perkutanenes rechtsventrikuläres Assist Device. In: Boeken U, Assmann A, Klotz S, Born F, Rieth A, Schmid C (Hrsg) *Mechanische Unterstützung im akuten Kreislaufversagen*. Springer, Berlin, Heidelberg, 95–109
 54. Dudzinski DM, Piazza G (2016) Multidisciplinary pulmonary embolism response teams. *Circulation* 133(1):98–103
 55. Osho AA, Dudzinski DM (2022) Interventional therapies for acute pulmonary embolism. *Surg Clin North Am* 102(3):429–447
 56. de Perrot M, Gopalan D, Jenkins D, Lang IM, Fadel E, Delcroix M et al (2021) Evaluation and management of patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension—consensus statement from the ISHLT. *J Heart Lung Transplant* 40(11):1301–1326
 57. Guerin L, Couturaud F, Parent F, Revel MP, Gillazeau F, Planquette B et al (2014) Prevalence of chronic thromboembolic pulmonary hypertension after acute pulmonary embolism. Prevalence of CTEPH after pulmonary embolism. *Thromb Haemostasis* 112(3):598–605
 58. Boon G, Jairam PM, Groot GMC, van Rooden CJ, Ende-Verhaar YM, Beenen LFM et al (2021) Identification of chronic thromboembolic pulmonary hypertension on CTPAs performed for diagnosing acute pulmonary embolism depending on level of expertise. *Eur J Intern Med* 93:64–70
 59. Humbert M, Kovacs G, Hoeper MM, Badagliacca R, Berger RMF, Brida M et al (2022) 2022 ESC/ERS guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension. *Eur Heart J* 43(38):3618–3731
 60. Ruggiero A, Screation NJ (2017) Imaging of acute and chronic thromboembolic disease: state of the art. *Clin Radiol* 72(5):375–388
 61. Braams NJ, Boon G, de Man FS, van Es J, den Exter PL, Kroft LJM et al (2021) Evolution of CT findings after anticoagulant treatment for acute pulmonary embolism in patients with and without an ultimate diagnosis of chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Eur Respir J* 58(6):2100699. <https://doi.org/10.1183/13993003.00699-2021>
 62. Wilkens H, Konstantinides S, Lang IM, Bunck AC, Gerges M, Gerhardt F et al (2018) Chronic thromboembolic pulmonary hypertension (CTEPH): updated recommendations from the Cologne consensus conference 2018. *Int J Cardiol* 272S:69–78
 63. Valerio L, Mavromanoli AC, Barco S, Abele C, Becker D, Bruch L et al (2022) Chronic thromboembolic pulmonary hypertension and impairment after pulmonary embolism: the FOCUS study. *Eur Heart J* 43(36):3387–3398
 64. Delcroix M, Torbicki A, Gopalan D, Sitbon O, Klok FA, Lang I et al (2021) ERS statement on chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Eur Respir J* 57(6):2002828. <https://doi.org/10.1183/13993003.02828-2020>
 65. Valerio L, Barco S, Jankowski M, Rosenkranz S, Lankeit M, Held M et al (2021) Quality of life 3 and 12 months following acute pulmonary embolism: analysis from a prospective multicenter cohort study. *Chest* 159(6):2428–2438
 66. Kahn SR, Hirsch AM, Akaberi A, Hernandez P, Anderson DR, Wells PS et al (2017) Functional and exercise limitations after a first episode of pulmonary embolism: results of the ELOPE prospective cohort study. *Chest* 151(5):1058–1068

67. Pesavento R, Filippi L, Palla A, Visona A, Bova C, Marzolo M et al (2017) Impact of residual pulmonary obstruction on the long-term outcome of patients with pulmonary embolism. Eur Respir J 49(5):1601980. <https://doi.org/10.1183/13993003.01980-2016>
68. Sista AK, Klok FA (2018) Late outcomes of pulmonary embolism: the post-PE syndrome. Thromb Res 164:157–162



Lesetipp Invasive Elektrophysiologie für Einsteiger



- Alle Grundlagen kompakt in einem Buch:
- Von der Diagnostik zur Therapie – Schritt für Schritt erklärt
 - Anatomische Basics
 - Diagnostik und Therapie der Herzrhythmusstörungen
- Inklusive Videos zu einzelnen Arrhythmien, Mappingtechniken und diagnostischen Manövern
- Ideal für den Sachkundekurs und die DGK-Zusatzqualifikation „Invasive Elektrophysiologie“

L. Iden, M. Borlich, P. Sommer (Hrsg.): „Invasive Elektrophysiologie für Einsteiger“; XVIII, 209 S., Springer Berlin, Heidelberg, 2023; Hardcover ISBN: 978-3-662-65796-6. (D) 69,99€