

#### Redaktion

S. Delorme, Heidelberg (Leitung)  
P. Reimer, Karlsruhe  
W. Reith, Homburg/Saar  
C. Schäfer-Prokop, Amersfoort  
C. Schüller-Weidekamm, Wien  
M. Uhl, Freiburg



CrossMark



3 Punkte sammeln auf ...

[springermedizin.de/  
eAkademie](http://springermedizin.de/eAkademie)

#### Teilnahmemöglichkeiten

Diese Fortbildungseinheit steht Ihnen als e.CME und e.Tutorial in der Springer Medizin e.Akademie zur Verfügung.

- e.CME: kostenfreie Teilnahme im Rahmen des jeweiligen Zeitschriftenabonnements
- e.Tutorial: Teilnahme im Rahmen des e.Med-Abonnements

#### Zertifizierung

Diese Fortbildungseinheit ist mit 3 CME-Punkten zertifiziert von der Landesärztekammer Hessen und der Nordrheinischen Akademie für Ärztliche Fort- und Weiterbildung und damit auch für andere Ärztekammern anerkennungsfähig.

#### Hinweis für Leser aus Österreich

Gemäß dem Diplom-Fortbildungs-Programm (DFP) der Österreichischen Ärztekammer werden die in der e.Akademie erworbenen CME-Punkte hierfür 1:1 als fachspezifische Fortbildung anerkannt.

#### Kontakt und weitere Informationen

Springer-Verlag GmbH  
Springer Medizin Kundenservice  
Tel. 0800 77 80 777  
E-Mail: [kundenservice@springermedizin.de](mailto:kundenservice@springermedizin.de)

# CME Zertifizierte Fortbildung

M. Das · J. E. Wildberger

Department of Radiology, Maastricht University Medical Center (MUMC+), Maastricht, The Netherlands

## Diagnostik der akuten Lungenembolie Ein Update

### Zusammenfassung

Die Lungenembolie ist eine akute, potenziell lebensbedrohliche Erkrankung, die einen differenzierten Algorithmus zur Diagnosestellung erforderlich macht. Entscheidend ist die Einschätzung des Risikos bzw. der klinischen Wahrscheinlichkeit mit dem Ziel, so schnell wie möglich eine spezifische Behandlung einleiten zu können oder eine Lungenembolie zuverlässig auszuschließen. Die Computertomographie der Pulmonalarterien (CTPA) stellt im diagnostischen Vorgehen den Goldstandard dar. Als Alternative kommt die Szintigraphie zum Einsatz. Eine negative CTPA schließt eine Lungenembolie mit sehr großer Wahrscheinlichkeit aus. Darüber hinaus kann die CTPA weitere Informationen, wie z. B. eine Einschätzung der rechtsventrikulären Belastung (rechtsventrikuläre Dysfunktion, RVD), oder alternative Diagnosen liefern. Zwingend notwendige Voraussetzung ist eine qualitativ hochwertige CTPA mit suffizientem Kontrast-Enhancement in den Pulmonalarterien unter Vermeidung von Artefakten und Optimierung sowohl der Strahlendosis als auch der Kontrastmittelmenge, abgestimmt auf den individuellen Patienten.

### Schlüsselwörter

Lungenembolie · Computertomographie · Ventilations-/Perfusionsszintigraphie · Rechtsventrikuläre Dysfunktion · Schwangerschaft

Die Inzidenz der ambulant erworbenen Lungenembolie bei Erwachsenen liegt bei ca. 28:100.000

## Lernziele

Dieser Fortbildungsbeitrag vermittelt Hintergrundinformationen zu Epidemiologie und Risikofaktoren für das Entstehen einer Lungenembolie. Nach Absolvieren dieser Lerneinheit ...

- kennen Sie die wichtigsten klinischen Algorithmen in der Diagnostik der akuten Lungenembolie.
- können Sie die Wertigkeit der verschiedenen bildgebenden Verfahren einschätzen, insbesondere der CTPA.
- kennen Sie die wichtigsten Einflussfaktoren einer qualitativ gut durchgeführten CTPA.
- können Sie Nutzen und Risiken der CTPA in der Diagnostik der Lungenembolie bei Schwangeren einschätzen.

## Hintergrund

### Epidemiologie

Die Lungenembolie stellt eine akute, potenziell lebensbedrohliche Erkrankung dar, bei der es zu einem partiellen oder völligen Verschluss der Pulmonalarterien, meist durch Embolien aus dem tiefen Bein- und Beckenvenensystem, kommt. Die Lungenembolie ist gemeinsam mit der tiefen Bein- und Beckenvenenthrombose (tiefe Venenthrombose; „deep vein thrombosis“, DVT) Teil der sog. **venösen Thromboembolie (VTE)**. Etwa 466.000 Patienten werden jährlich mit einer DVT diagnostiziert und etwa 296.000 Patienten mit einer Lungenembolie [1]. Die Inzidenz der ambulant erworbenen Lungenembolie bei Erwachsenen liegt bei etwa 28 pro 100.000 Einwohner, die der nosokomialen Lungenembolie bei etwa 67 pro 100.000 Einwohner. Bei Kindern wird von einer Inzidenz von bis zu 4,9 pro 100.000 (ambulant erworben), bei hospitalisierten Patienten dagegen von bis zu 57 pro 100.000 ausgegangen [2, 3].

### Risikofaktoren

Eine Vielzahl an Risikofaktoren kann das Entstehen einer Lungenembolie begünstigen. Diese können unterschieden werden in patientenspezifische Risikofaktoren (z. B. onkologische Grunderkrankungen) sowie begünstigende Faktoren, welche in einem Zeitfenster zwischen 6 Wochen und 3 Monaten vor dem klinischen Ereignis (chirurgische Eingriffe, Trauma, Immobilisierung, Schwangerschaft, orale Kontrazeption, Hormontherapie) vorhanden waren [2]. Als besondere

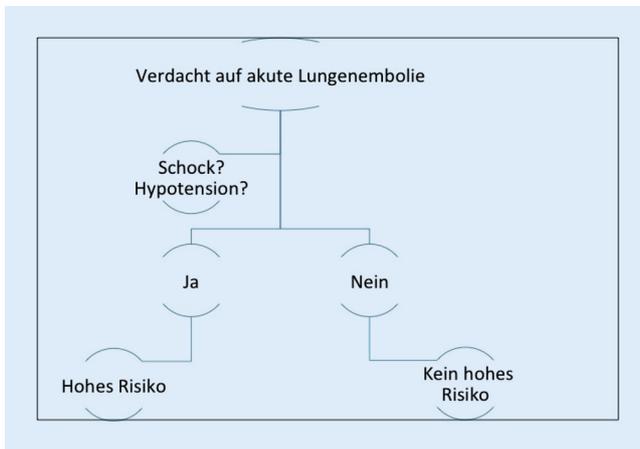
## Diagnosics of acute pulmonary embolism. An update

### Abstract

Pulmonary embolism is an acute and potentially life-threatening condition requiring a differentiated diagnostic algorithm. Assessment of the risk and clinical probability are of utmost importance in order to initiate early treatment or to reliably exclude a pulmonary embolism. Computed tomography of the pulmonary arteries (CTPA) has become the non-invasive gold standard for the diagnostic approach. Alternatively, scintigraphy can also be used. A negative CTPA excludes a pulmonary embolism with a high degree of probability. Furthermore, CTPA can supply additional information, such as estimation of the right ventricular strain (right ventricular dysfunction, RVD) or alternative diagnoses if pulmonary embolism has been ruled out as the primary cause of symptoms. An essential prerequisite is a high quality CTPA with sufficient contrast enhancement in the pulmonary arteries, avoidance of artifacts and optimization of both the radiation dosage as well as the amount of contrast medium, individually determined for each patient.

### Keywords

Pulmonary embolism · Computed tomography · Perfusion scintigraphy · Right ventricular dysfunction · Pregnancy



**Abb. 1** ◀ Initiale Risikoeinschätzung, basierend auf Schock und Hypotension. (Adaptierte Grafik nach ESC [European Society of Cardiology]-Guideline; [2])

Risikofaktoren gelten Knie- oder Hüftprothesenersatz, schwere Traumata inkl. spinaler Verletzungen bzw. Frakturen der unteren Extremität, Hospitalisierung wegen Herzversagens oder Vorhofflimmerns/-flatterns, Myokardinfarkt sowie eine anamnestische VTE.

## Klinische Präsentation und Klassifizierung

Häufig wird die Diagnose einer Lungenembolie nicht gestellt, nicht zuletzt aufgrund der häufig unspezifischen klinischen Symptomatik. Die Letalität jedoch hängt ab vom Schweregrad der Erkrankung (Ausmaß der Verlegung der Lungenstrombahn), von der damit einhergehenden Druckbelastung (erhöhter Afterload) des rechten Ventrikels (RV), welche zu einer rechtsventrikulären Dysfunktion (RVD) führt, sowie von eventuell vorhandenen Komorbiditäten. Eine frühzeitige Diagnose, eine Einschätzung des Schweregrades (Hochrisiko vs. Nichthochrisiko) sowie rechtzeitige Therapieeinleitung sind im Hinblick auf die 30-Tages-Mortalität prognostisch entscheidend [2]. Bei sehr hoher klinischer Wahrscheinlichkeit sollte bereits vor der definitiven Diagnosestellung eine spezifische Therapie eingeleitet werden.

Hochrisikopatienten zeichnen sich durch das Vorliegen eines Schocks oder einer Hypotension aus (Abb. 1) und erfordern eine umgehende weitere Bildgebung (Abb. 2). Nichthochrisikopatienten können eine Vielzahl klinischer, eher unspezifischer Symptome aufweisen. Am häufigsten treten Symptome auf wie Dyspnoe, Thoraxschmerz, Synkope oder Hämoptysen [4]. Je nach Ausprägung der Lungenembolie (zentral oder peripher) können diese Symptome unterschiedlich stark ausgeprägt sein oder ganz fehlen. Weniger häufig und ebenfalls unspezifisch können Husten, Fieber oder Symptome einer DVT auftreten (Schmerzen, einseitige Beinschwellung). Weiterhin tritt häufig eine Hypoxämie oder eine Hypokapnie auf, spezifische EKG-Veränderungen mit Hinweisen auf eine Rechtsherzbelastung sowie Vorhoffarrhythmien sind hochspezifisch, treten aber seltener auf.

Kommt es zu Rezidivlungenembolien (chronische Thromboembolie), steigt das Risiko einer pulmonalen Hypertonie (**chronische thromboembolische pulmonale Hypertonie, CTEPH**; Inzidenz ca.  $\leq 3,8\%$  nach 2 Jahren, [5]) mit fortschreitender RVD und konsekutiv erhöhter Mortalität.

## Risikostratifizierung

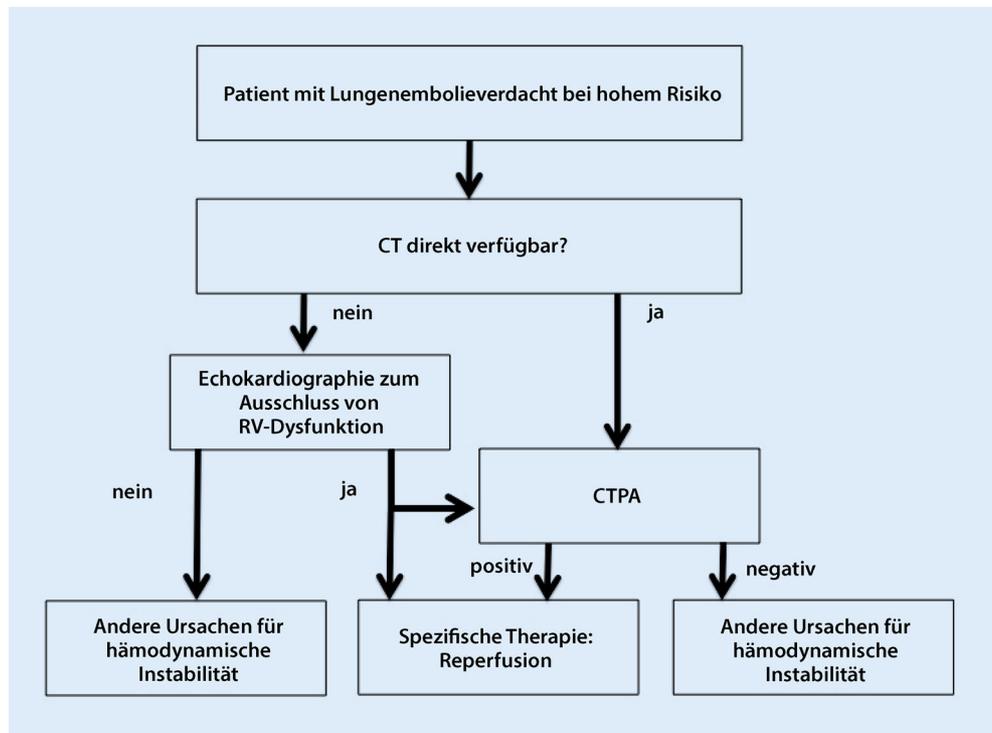
### Klinische Wahrscheinlichkeit

Da die klinischen Symptome häufig unspezifisch sind, sollte zunächst die klinische Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer Lungenembolie mit Hilfe einfacher Tests eingeschätzt werden. Mit Hilfe der revidierten Scores (**Well's Score**, **Geneva Score**) erfolgt eine Klassifizierung der Patienten in niedrige, mittlere oder hohe Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer Lungenembolie. Beim revidierten zweiseitigen Score erfolgt eine vereinfachte Klassifizierung in „wahrscheinlich“ oder „unwahrscheinlich“ [6, 7]. Abhängig von der Klassifizierung schließt sich unmittelbar die

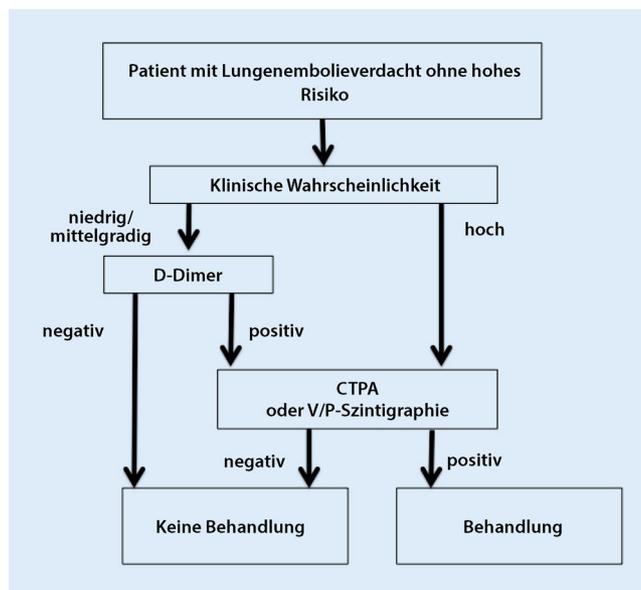
Bei sehr hoher klinischer Wahrscheinlichkeit sollte bereits vor der definitiven Diagnosestellung eine spezifische Therapie eingeleitet werden

Hochrisikopatienten zeichnen sich durch das Vorliegen eines Schocks oder einer Hypotension aus

Kommt es zu Rezidivlungenembolien, steigt das Risiko einer pulmonalen Hypertonie



**Abb. 2** ▲ Algorithmus für Patienten mit hohem Risiko (CTPA Computertomographie der Pulmonalarterien, RV rechtsventrikulär). (Adaptierte Grafik nach ESC [European Society of Cardiology]-Guideline [2])



**Abb. 3** ◀ Algorithmus für Patienten ohne hohes Risiko (CTPA Computertomographie der Pulmonalarterien, V/P-Szintigraphie Ventilations-/Perfusionsszintigraphie). (Adaptierte Grafik nach ESC [European Society of Cardiology]-Guideline [2])

Bildgebung mittels Computertomographie der Pulmonalarterien (CTPA) an, oder es wird noch ein D-Dimer-Test durchgeführt (▣ **Abb. 3**).

### D-Dimer

Als Folge einer Koagulation und damit einhergehender Fibrinolyse können im Blut spezifische Proteine (D-Dimere) als Abbauprodukt der Fibrinolyse nachgewiesen werden [8]. Bei negativem **D-Dimer-Test** ist eine Lungenembolie ausgeschlossen. Üblicherweise wird ein Schwellenwert von 500 µg/l angewandt, jedoch finden zunehmend altersangepasste Schwellenwerte Verwendung [9, 10]. Schwierigkeiten bereitet die niedrige Spezifität des Tests, da dieser auch bei Patienten mit

onkologischer Grunderkrankung, bei hospitalisierten Patienten oder bei Schwangeren in der Regel positiv ist. Daher ist bei Patienten mit sehr hoher klinischer Wahrscheinlichkeit ein D-Dimer-Test nicht indiziert – und somit direkt eine weiterführende Diagnostik mittels Bildgebung notwendig.

## Nicht-invasive Bildgebung

Eine Thoraxübersichtsaufnahme wird häufig als erstes bildgebendes Verfahren, insbesondere zum Ausschluss anderer thorakaler Pathologien, eingesetzt. Jedoch ist die Thoraxübersichtsaufnahme zum Ausschluss einer Lungenembolie ungeeignet. Die CTPA ist heute als Goldstandard der nicht-invasiven Diagnostik der Lungenembolie anerkannt [2, 11].

Die **Ventilations-/Perfusionszintigraphie** wird häufig als alternative Diagnostik diskutiert. Sie weist eine hohe Sensitivität (ca. 78 %) und insbesondere eine hohe Spezifität (98 %) auf, sodass bei einer negativen Szintigraphie eine Lungenembolie ebenfalls ausgeschlossen ist und keine weiteren therapeutischen Maßnahmen indiziert sind [12, 13]. Vorteile werden häufig in der niedrigen Strahlendosis (ca. 1,1 mSv) gesehen [14], insbesondere bezüglich der Exposition des weiblichen Brustgewebes. Probleme der Szintigraphie sind neben der Logistik (permanente Verfügbarkeit) die einfache Klassifizierung (Normalbefund = keine Lungenembolie, Lungenembolie wahrscheinlich = positiver Nachweis, nichtdiagnostischer Scan) bzw. der lediglich indirekte Nachweis der Lungenembolie.

Für die **Ventilations-/Perfusions-SPECT** („single photon emission computed tomography“) wurden gute Ergebnisse berichtet, insbesondere bezüglich einer Reduzierung nichtdiagnostischer Scans [15]. Darüber hinaus spielt die Echokardiographie eine Rolle zur frühzeitigen Erkennung einer RVD [16]. Allerdings ist die Echokardiographie naturgemäß nicht in der Lage, eine Lungenembolie auszuschließen.

Die **MRT (Magnetresonanztomographie)-Angiographie** (MRA) ist in verschiedenen Studien mit teilweise widersprechenden Ergebnissen evaluiert worden [17]. Jedoch konnten diese Ergebnisse nicht flächendeckend reproduziert werden, sodass gemäß der aktuellen Empfehlung die MRA nur in Zentren mit großer Expertise als Alternative bei Kontraindikationen für die CTPA oder die Szintigraphie eingesetzt werden sollte [18].

## Invasive Bildgebung

### Pulmonalisangiographie

Die Angiographie der Pulmonalarterien ist der historische Goldstandard für die Diagnostik der Lungenembolie. Heutzutage ist sie vollständig durch die nicht-invasiven Verfahren ersetzt worden und kommt lediglich noch bei der kathetergesteuerten Thrombolyse zum Einsatz oder im diagnostischen Algorithmus bei Patienten mit CTPEH [19].

### Durchführung der CTPA

Seit Einführung der Mehrschicht-Spiral-CT (MSCT) wird die CT kontinuierlich weiterentwickelt. Sie zeichnet sich insbesondere durch ihre universelle Verfügbarkeit, ihre hohe örtliche und zeitliche Auflösung sowie die damit einhergehende hohe diagnostische Genauigkeit aus. Darüber hinaus bietet die MSCT Möglichkeiten zur Quantifizierung, z. B. des Schweregrades der Lungenembolie, ergänzt durch eine einfache Einschätzung einer eventuellen Rechtsherzbelastung und der damit verbundenen Prognoseeinschätzung [20].

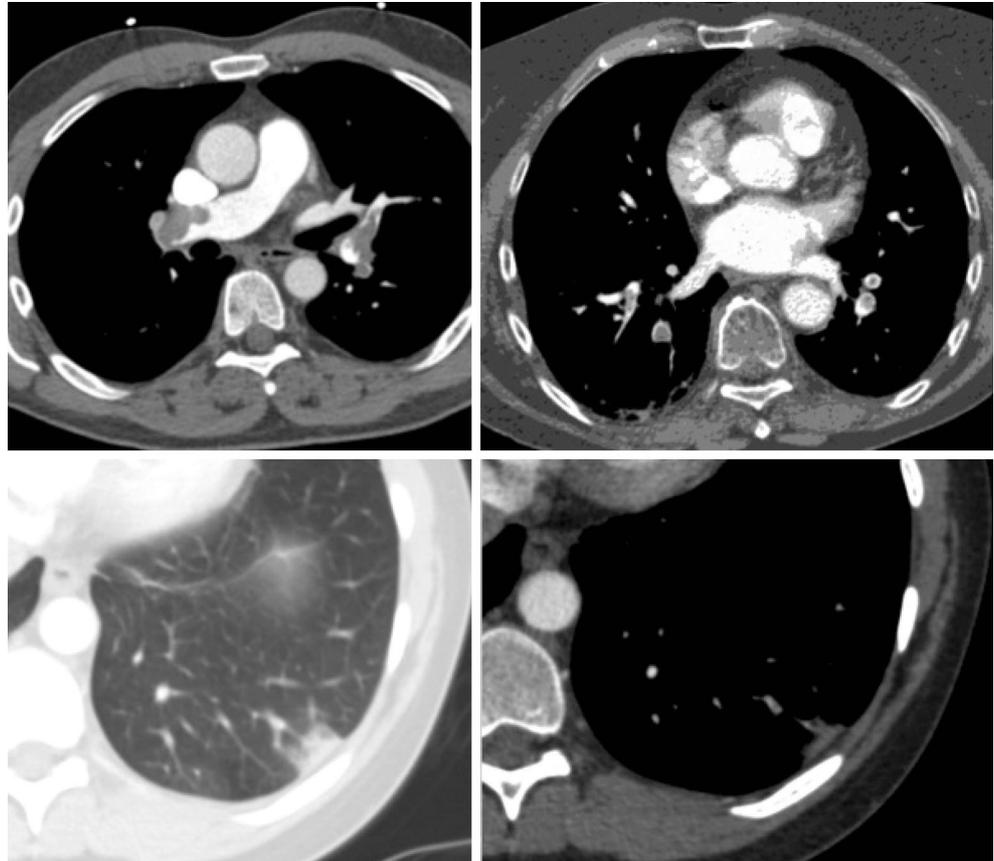
Die Sensitivität und die Spezifität der MSCT zur Detektion einer Lungenembolie liegen bei nahezu 100 %. **Abb. 4** zeigt typische Befunde einer Lungenembolie. Insbesondere der hohe negative prädiktive Wert führt dazu, dass eine negative CTPA eine klinisch relevante Lungenembolie ausschließt und keine weitere Diagnostik bzw. Behandlung notwendig ist [8].

### Empfehlungen für die Durchführung

Eine qualitativ hochwertige CTPA ist die Grundvoraussetzung, um eine Lungenembolie zuverlässig auszuschließen oder zu detektieren. Um dies zu gewährleisten, ist zum Zeitpunkt des Scans ein

**Die Thoraxübersichtsaufnahme ist zum Ausschluss einer Lungenembolie ungeeignet**

**Sensitivität und Spezifität der MSCT zur Detektion einer Lungenembolie liegen bei nahezu 100 %**



**Abb. 4** ▲ Typische Befunde: zentrale, segmentale und subsegmentale Lungenembolien sowie konsekutiver Infarkt

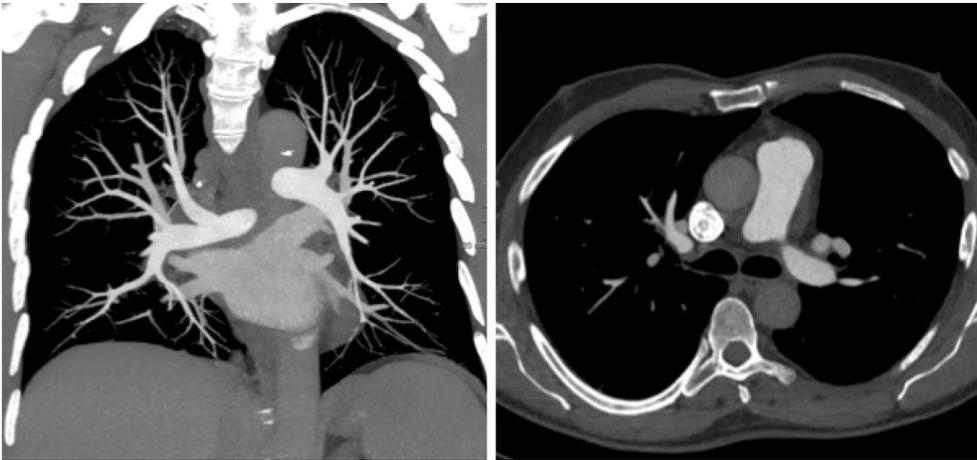
homogenes Kontrast-Enhancement in den Pulmonalarterien vom Hauptstamm bis zu den subsegmentalen Gefäßen notwendig. Ein minimales Enhancement von 180 HU (Hounsfield-Einheiten) wird in der Literatur genannt, jedoch sollte heute der Zielwert über 250 HU liegen. Hierbei sind gerätespezifische Besonderheiten, Kontrastmittelparameter wie auch patientenabhängige Faktoren zu berücksichtigen.

### CT-Scan-Parameter

Generell können alle MSCT-Scanner-Generationen ab 4 Schichten pro Umlauf für die Diagnostik einer klinisch vermuteten Lungenembolie eingesetzt werden. Durch verbesserte Röntgenröhren und Detektorsysteme können die meisten Scanner mit 64 Detektorschichten oder mehr auch bei dyspnoeischen Patienten die gesamte Lunge in einer Atemanhaltephase abbilden. Als Empfehlung für die Praxis sollte eine möglichst kleine Kollimation (in der Regel  $\leq 1$  mm) gewählt werden, um eine hohe Detailerkennbarkeit zu gewährleisten. Dies sollte kombiniert werden mit einer möglichst schnellen Rotationszeit ( $\leq 0,5$ ) und einem hohen Pitch ( $>1$ ), um eine kurze Scandauer zu erzielen.

Weitere wichtige Parameter stellen die Röhrenspannung (kV) und der Röhrenstrom (mAs) dar. Sie sind nicht nur wichtig hinsichtlich der Strahlenbelastung, sondern auch entscheidend für eine optimale Bildqualität. Während in der Vergangenheit hauptsächlich 120-kV-Protokolle zum Einsatz kamen, haben sich in den letzten Jahren zunehmend 100-kV-Protokolle bei CT-Angiographien etabliert, da bei niedrigeren kV-Zahlen das energetische Spektrum näher an der k-Kante von Jod (33 keV) liegt und somit ein höheres Enhancement resultiert. Allerdings steigt bei niedrigeren Spannungen bei gleichbleibendem Röhrenstrom naturgemäß das Bildrauschen. Um dies zu kompensieren, sind bei niedrigeren kV Anpassungen des Röhrenstroms notwendig. Nicht alle Röntgenröhren können bei niedrigen kV-Werten ausreichend hohe Röhrenströme gewährleisten. Daher sind bei den meisten älteren Scannern 80-kV-Protokolle häufig nur bei

**Empfohlen werden kleine  
Kollimation, schnelle  
Rotationszeit und hoher Pitch**



**Abb. 5** ▲ 80-kV-Scan bei einem 75 kg schweren Patienten mit optimalem Enhancement (Kontrastmittelbolus: 30 ml), akquiriert mit einem „High-pitch“-Protokoll

Kindern oder sehr schlanken Patienten einsetzbar, wohingegen moderne Scanner niedrigere kV-Zahlen bei einem breiteren Patientenspektrum möglich machen (▣ **Abb. 5**). Ein weiterer Vorteil ist der höhere **Jodkontrast**, d. h. bei gleichbleibender Kontrastmittelmenge wird ein relativ höheres Enhancement erzielt, was seinerseits eine Reduktion der Kontrastmittelmenge bei niedrigeren kV-Spannungen ermöglicht. Ein pragmatischer Ansatz für die kV- und mAs-Werte ist von Hartmann et al. [21] vorgestellt worden (▣ **Tab. 1**).

Moderne Rekonstruktionstechniken, die zusätzlich das Bildrauschen reduzieren („**iterative noise reconstruction**“), werden heute für alle modernen Scanner angeboten und sollten in jedem Fall angewendet werden.

### Kontrastmittelgabe

Ein suffizientes Enhancement wird durch eine ausreichende Kontrastmittelgabe erreicht. Als entscheidender Parameter für die CT-Angiographie gilt die Jodmenge, die pro Sekunde injiziert wird (Jodflussrate; „**iodine delivery rate**“, **IDR**; [24]). Diese Menge errechnet sich aus der Jodkonzentration, multipliziert mit der Flussrate (z. B.  $370 [0,37] \text{ mg Jod/ml} \times 4,8 \text{ ml/s} = 1,78 \text{ g Jod/s}$ ). In der Regel sind Jodflussraten zwischen  $1,5 \text{ g Jod/s}$  und  $1,8 \text{ g Jod/s}$  ausreichend. Wichtig ist neben dem Anwärmen des Kontrastmittels auf Körpertemperatur (zur Verminderung der Viskosität) auch die Injektion eines Kochsalzbolus, um den Totraum (ca. 30 ml) zwischen Injektionsstelle und rechtem Herzen zu spülen und somit Artefakte in der Vena cava superior zu minimieren, welche unter Umständen zu Problemen bei der Interpretation der rechten Pulmonalarterie sowie der Lungenoberfelder führen können. Das Kontrastmittelvolumen hängt von der Scandauer ab. Da moderne Scanner nur noch wenige Sekunden benötigen, konnte die Gesamtmenge in den letzten Jahren deutlich reduziert werden. Wurden bei 20 s Scanzzeit häufig noch 100 ml empfohlen, sind bei Scanzzeiten unter 5 s lediglich noch um die 70 ml notwendig [21]. Wie bereits eingangs erwähnt, ist mit modernen Scannern, niedrigeren kV-Einstellungen und neuen Techniken wie monoenergetischer Rekonstruktion eine weitere Reduktion des Kontrastmittelvolumens möglich [22], jedoch sind diese Verfahren nicht an allen Scannern einsetzbar.

### Patientenparameter

Idealerweise wird die Kontrastmittelmenge individuell für jeden Patienten angepasst, da sich, bedingt durch das Körpergewicht, das Blutvolumen ändert. Dabei weisen schwerere Patienten ein höheres Blutvolumen auf und benötigen konsekutiv mehr Kontrastmittel, während leichte Patienten entsprechend weniger Kontrastmittel benötigen [25]. Zudem weisen Patienten häufig auch eine unterschiedliche kardiale Auswurfleistung (kardialer Output) auf, was die Zirkulationsgeschwindigkeit des Blutes und damit indirekt auch die des Kontrastmittels verändert. In der Klinik haben sich die **Testbolusmethode** (kleines Volumen Kontrastmittel zur Berechnung des

Idealerweise wird die Kontrastmittelmenge individuell für jeden Patienten angepasst

Eine schnelle Abfolge von Niedrigdosis-Testscans sowie eine gute Abstimmung von Schwellenwert und Delay-Zeit sind entscheidend

Zur Beurteilung sind dünn rekonstruierte Schichten absolut notwendig

**Tab. 1** Gewichtsadaptierte Empfehlungen für die kV- und Röhrenstromanpassung [21] sowie Empfehlung für angepasste IDR („iodine delivery rate“)

Gewicht	kV	mAs <sub>ref</sub>	IDR (Jodmenge pro Sekunde)
<50 kg	80	1,5 mAs/kg	1,5 gJ/s
50–70 kg	100	120	1,6 gJ/s
70–90 kg	100 (120)	150	1,7 gJ/s
>90 kg	120	150	1,8 gJ/s

Peak-Enhancements) sowie die Bolusverfolgung (**Bolus-Tracking**, ROI [„region of interest“] im Tr. pulmonalis) bewährt.

Eine schnelle Abfolge von Niedrigdosis-Testscans sowie eine gute Abstimmung von Schwellenwert und Delay-Zeit sind entscheidend. So kann die Delay-Zeit bei einem niedrigen Schwellenwert etwas länger gewählt werden als bei einem hohen Schwellenwert (z. B. 100 HU und 5 s, 150 HU und 3 s, für ein 256-Zeilen-Gerät). Grundsätzlich gilt, dass die Delay- und die Injektionszeit der Scanlänge und -dauer anzupassen sind.

Des Weiteren ist es wichtig, Patienten beim Atemkommando kein **Valsalva-Manöver** (forcierte Expiration) ausführen zu lassen, weil dies zu einer Unterbrechung des venösen Rückstroms zum Herzen und somit zu einem temporären Abfall des intravaskulären Kontrasts in der Lungenstrombahn führt, der – tritt dies während der Scanphase ein – die Bildqualität entscheidend herabsetzt und im schlimmsten Fall eine Wiederholung der Untersuchung erforderlich macht. Eine kurze Instruktion zum „Einatmen“ und „Atem anhalten“ ist in der Regel optimal (evtl. Mund offen lassen). Bei sehr schnellen Scannern kann unter Umständen auch ohne Atemkommando (freie, flache Atmung) untersucht werden.

## Bildbefundung

Dünnschichtige **multiplanare Reformationen** (MPR) können die Diagnostik vor allem in koronarer Richtung unterstützen. **Maximumintensitätsprojektionen** (MIP) können eine schnelle Übersicht geben und werden insbesondere zur Beurteilung der peripheren Gefäße empfohlen. MIP sollten jedoch nicht zu dick (<4 mm) gewählt werden, da es ansonsten zur Maskierung kleiner intravaskulärer Thromben kommen kann.

## „Dual-energy“-Technik

Neuere Techniken, wie z. B. „Dual-energy“-Bildgebung und monoenergetische Rekonstruktionen, versprechen eine weitere Verbesserung der Bildqualität, verbunden mit Dosisreduktion bzw. weiterer Kontrastmitteleinsparung [22, 23]. Zusätzlich bietet die „Dual-energy“-Technik die Möglichkeit, sog. **Perfusions-Maps** zu erstellen, welche zum einen zur Detektion kleiner subsegmentaler Lungenembolien und zum anderen als funktionelle und prognostische Parameter (Korrelation mit der Mortalität) dienen können. So wurde eine Korrelation zwischen dem Volumen des Perfusionsdefekts und Zeichen der rechtsventrikulären Druckbelastung, dem vaskulären Obstruktionsindex und sogar der Patientenmortalität beschrieben [23].

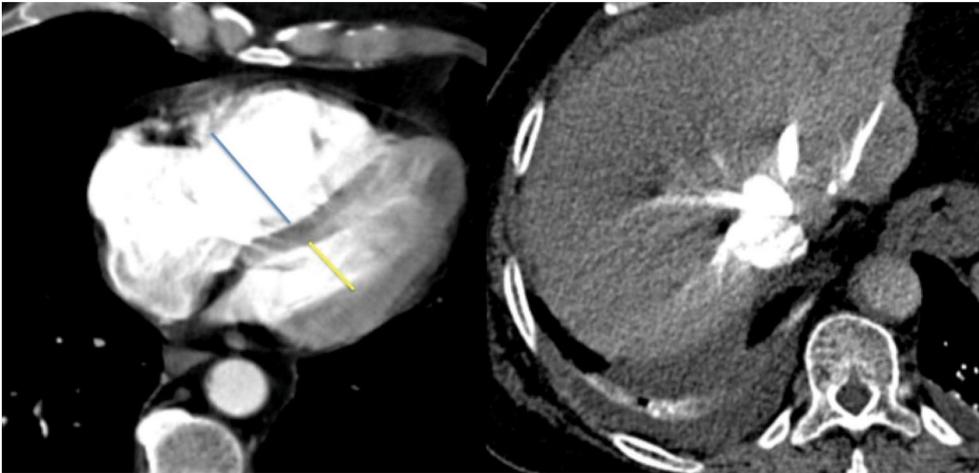
Zur Beurteilung sind dünn rekonstruierte Schichten absolut notwendig, sodass als Empfehlung gilt, 1 mm Schichtdicke mit einer Überlappung von etwa 20–30 % zur primären Befundung zu erstellen.

Bei der Interpretation derartiger Perfusions-Maps ist eine genaue Kenntnis der Artefakte wichtig, um Pseudo- von realen Perfusionsdefekten differenzieren zu können.

## Spezifische Probleme

### Rechter Ventrikel

Die Beurteilung des RV im Rahmen der CTPA liefert wichtige Hinweise auf die mögliche Belastung des rechten Herzens durch eine akute Druckerhöhung. Basierend auf axialen Schichten, ist eine einfache Ratio zwischen RV und linkem Ventrikel (LV) möglich. Der Schwellenwert liegt hier



**Abb. 6** ▲ RV (rechter Ventrikel)/LV (linker Ventrikel)-Ratio  $>1$  (Messung muss nicht zwangsläufig auf derselben Schicht erfolgen) sowie paradoxe Septumbewegung in Richtung des LV und Reflux von Kontrastmittel in die Lebervenen

bei 1. Ist der Schwellenwert überschritten (d. h.  $>1$ ), dann liegt eine Rechtsherzbelastung vor (▣ **Abb. 6**). Zudem geht eine Ratio größer 1 mit einer erhöhten Mortalität einher [26]. Allerdings belegen nicht alle Studien diese Aussage, einige Studien beschreiben höhere Schwellenwerte (1,1 bis  $>1,5$ ), teilweise wird eine 3-D-Volumetrie empfohlen [27], oder es wird die Aussagekraft der RV/LV-Ratio gänzlich in Frage gestellt [28].

Auch der Kontrastmittelreflux in die Lebervenen wird zur Beurteilung der RV-Funktion eingesetzt. Hierzu ist zu sagen, dass erst ein Reflux in die intrahepatischen Lebervenen als Zeichen erhöhter Rechtsherzbelastung zu werten ist, ein Reflux in die Vena cava inferior und den proximalen Venenkonfluens allein wird auch bei normaler Rechtsherzfunktion gesehen und ist vom applizierten Kontrastmittel-Flow sowie von Inspirationstiefe und Valsalva abhängig.

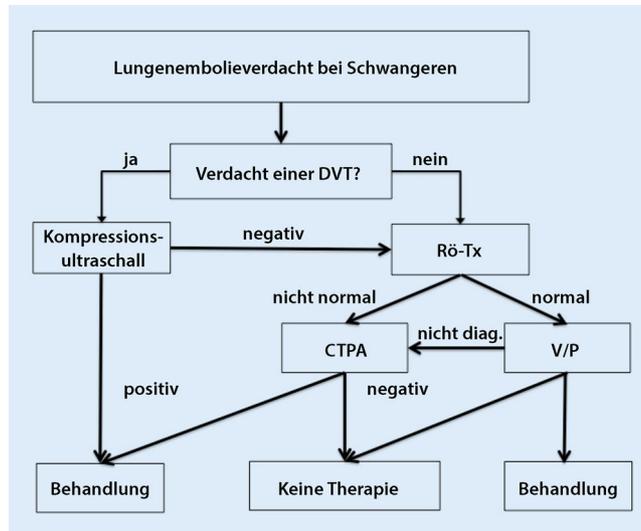
### Inzidentelle Lungenembolien

Nicht selten kommt es insbesondere bei onkologischen Patienten vor, dass zufällig eine Lungenembolie entdeckt wird, ohne dass ein spezifischer Verdacht vorliegt. Wie bereits im Vorfeld erwähnt, haben vor allem Patienten mit kardialen Erkrankungen oder Tumorerkrankungen ein erhöhtes Risiko [29]. Diese spezielle Kenntnis ist bei der CT-Befundung wichtig, da diese Patienten einer individuell angepassten Antikoagulationstherapie bedürfen. Eventuell ist bei der Befundung darauf zu achten, dass Bildrekonstruktionsparameter auf die Fragestellung „Lungenembolie“ angepasst werden (dünne Schichten), um Artefakte sicher auszuschließen.

### Lungenembolie bei Schwangeren

Die Lungenembolie gilt bei Schwangeren als die häufigste Todesursache und macht somit eine akkurate und schnelle Diagnose zur Einleitung einer frühzeitigen Therapie zwingend erforderlich ([2, 30]; ▣ **Abb. 7**). Schwierigkeiten bereiten häufig die unspezifischen Symptome sowie die Tatsache, dass z. B. D-Dimer-Tests in der Regel bei Schwangeren positiv sind. Es gab in der Vergangenheit Ansätze, neue Grenzwerte für die Schwangerschaft zu etablieren [31], jedoch haben sich diese bisher nicht flächendeckend in der Routine etabliert; andererseits schließt ein negativer D-Dimer-Test eine Lungenembolie ebenso zuverlässig aus wie bei nichtschwangeren Patienten [2]. Als erster Schritt wird in der Regel ein Ultraschall der Becken- und Beinvenen zum Ausschluss einer Thrombose empfohlen, da bei positivem Ergebnis eine Behandlung mit Antikoagulanzen indiziert und somit keine weitere Bildgebung mehr notwendig ist ([2]; ▣ **Abb. 4**). Bei negativem Ultraschall und weiterhin vorliegendem Verdacht einer Lungenembolie kann zunächst eine Thoraxübersichtsaufnahme Hinweise auf die Differenzialdiagnose liefern. Anschließend besteht die Wahl zwischen einer Szintigraphie und der CTPA. Die diagnostische Wertigkeit beider

Bei einer RV/LV-Ratio  $>1$  liegt eine Rechtsherzbelastung vor



**Abb. 7** ◀ Diagnostischer Algorithmus bei Schwangeren (DVT tiefe Venenthrombose, Rö-Tx Röntgenthorax, CTPA Computertomographie der Pulmonalarterien, V/P Ventilations-/Perfusionsszintigraphie, nicht diag. nicht diagnostisch). (Adaptiert nach Empfehlung der American Thoracic Society [30])

Die Strahlendosis des Fötus ist sowohl bei der CTPA als auch bei der Szintigraphie sehr gering

Der Einsatz von jodhaltigem Kontrastmittel in der Schwangerschaft kann als sicher angesehen werden

Verfahren ist unter der Voraussetzung einer qualitativ hochwertigen Ausführung vergleichbar. Zu unterscheiden sind die Strahlenexposition der Mutter – hier vor allem der Mammae – sowie die fötale Exposition. Die Strahlendosis des Fötus ist sowohl bei der CTPA als auch bei der Szintigraphie sehr gering (CTPA: 0,003–0,13 mSv, Szintigraphie: 0,06–0,12 mSv) und sollte somit keine Einschränkung der Diagnostik begründen. Aus Gründen des Strahlenschutzes wird häufig zunächst die Szintigraphie bevorzugt, jedoch hat sich die Strahlenbelastung der modernen CT-Scanner in den letzten Jahren deutlich verringert, sodass diese Überlegung nicht mehr uneingeschränkt gerechtfertigt scheint. Nicht zu unterschätzen ist auch die Tatsache, dass mit Hilfe der CT alternative Ursachen festgestellt werden können.

Kommt die Szintigraphie zum Einsatz, wird meistens zunächst lediglich eine Perfusions-szintigraphie durchgeführt, welche ggf. durch eine Ventilationsszintigraphie ergänzt wird. Eine nichtdiagnostische Szintigraphie sollte eine CTPA nach sich ziehen.

Wie bereits eher beschrieben, hat die MRA in einigen Studien gute Ergebnisse gezeigt, allerdings sollte sie nur in entsprechenden Expertisenzentren unter der Berücksichtigung der geringeren Wertigkeit bei subsegmentalen Lungenembolien eingesetzt werden [18].

Der Einsatz von jodhaltigem Kontrastmittel in der Schwangerschaft kann als sicher angesehen werden [32]. Theoretisch kann jodhaltiges Kontrastmittel eine Hypothyreose beim Fötus auslösen, daher sollten Neugeborene im Rahmen der Standardroutine auf Hypothyreose getestet werden.

### Fazit für die Praxis

- Die CTPA stellt den Goldstandard zur nicht-invasiven Diagnostik der Lungenembolie dar. Um eine hohe Qualität zu erzielen, sind kurze Scanzeiten notwendig (kleine Kollimation, schnelle Rotationszeit, hoher Pitch).
- Niedrigere kV-Zahlen sind zu bevorzugen (100 kV als Standard, abhängig vom Scanner auch niedrigere kV-Zahlen) hinsichtlich geringerer Strahlenbelastung und höherem Kontrast-Enhancement.
- Neue technische Möglichkeiten wie z. B. „Dual energy“-Bildgebung, monoenergetische Rekonstruktion und „High-pitch“-Techniken können die Bildqualität und die Diagnostik weiter verbessern, sie sind jedoch nicht an allen Scannern verfügbar.
- Die MRA ist nur in Zentren mit großer Expertise als Alternative einsetzbar.
- Bei Schwangeren sollte nach Ausschluss einer DVT frühzeitig weitere Bildgebung mittels CTPA oder Szintigraphie zum Einsatz kommen.

## Korrespondenzadresse



### PD Dr. M. Das

Department of Radiology, Maastricht University Medical Center (MUMC+)  
P. Debyelaan 25, 6229 HX Maastricht, The Netherlands  
m.das@mumc.nl

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** M. Das und J.E. Wildberger weisen auf folgende Beziehungen hin: institutionelle Grants von Bayer, Siemens, Phillips, GE.

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

**Open Access.** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

## Literatur

- Cohen AT, Agnelli G, Anderson FA et al (2007) Venous thromboembolism (VTE) in Europe. The number of VTE events and associated morbidity and mortality. *Thromb Haemost* 98(4):756–764
- Konstantinides SV, Torbicki A, Agnelli G et al (2014) ESC guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism. *Eur Heart J* 35(43):3033 (69a–69k)
- Biss TT, Brandao LR, Kahr WH, Chan AK, Williams S (2008) Clinical features and outcome of pulmonary embolism in children. *Br J Haematol* 142(5):808–818
- Pollack CV, Schreiber D, Goldhaber SZ et al (2011) Clinical characteristics, management, and outcomes of patients diagnosed with acute pulmonary embolism in the emergency department: initial report of EMPEROR (Multicenter Emergency Medicine Pulmonary Embolism in the Real World Registry). *J Am Coll Cardiol* 57(6):700–706
- Pengo V, Lensing AW, Prins MH et al (2004) Incidence of chronic thromboembolic pulmonary hypertension after pulmonary embolism. *N Engl J Med* 350(22):2257–2264
- Klok FA, Mos IC, Nijkeuter M et al (2008) Simplification of the revised Geneva score for assessing clinical probability of pulmonary embolism. *Arch Intern Med* 168(19):2131–2136
- Gibson NS, Sohne M, Kruij MJ et al (2008) Further validation and simplification of the Wells clinical decision rule in pulmonary embolism. *Thromb Haemost* 99(1):229–234
- van Belle A, Buller HR, Huisman MV et al (2006) Effectiveness of managing suspected pulmonary embolism using an algorithm combining clinical probability, D-dimer testing, and computed tomography. *JAMA* 295(2):172–179
- Righini M, Van Es J, Den Exter PL et al (2014) Age-adjusted D-dimer cutoff levels to rule out pulmonary embolism: the ADJUST-PE study. *JAMA* 311(11):1117–1124
- Altmann MM, Wrede CE, Peetz D, Hohne M, Stroszczyński C, Herold T (2015) Age-dependent D-dimer cut-off to avoid unnecessary CT-exams for ruling-out pulmonary embolism. *Rofo* 187(9):795–800
- Remy-Jardin M, Pistolesi M, Goodman LR et al (2007) Management of suspected acute pulmonary embolism in the era of CT angiography: a statement from the Fleischner society. *Radiology* 245(2):315–329
- Sostman HD, Stein PD, Gottschalk A, Matta F, Hull R, Goodman L (2008) Acute pulmonary embolism: sensitivity and specificity of ventilation-perfusion scintigraphy in PLOPED II study. *Radiology* 246(3):941–946
- Anderson DR, Kahn SR, Rodgers MA et al (2007) Computed tomographic pulmonary angiography vs ventilation-perfusion lung scanning in patients with suspected pulmonary embolism: a randomized controlled trial. *JAMA* 298(23):2743–2753
- Schembri GP, Miller AE, Smart R (2010) Radiation dosimetry and safety issues in the investigation of pulmonary embolism. *Semin Nucl Med* 40(6):442–454
- Gutte H, Mortensen J, Jensen CV et al (2009) Detection of pulmonary embolism with combined ventilation-perfusion SPECT and low-dose CT: head-to-head comparison with multidetector CT angiography. *J Nucl Med* 50(12):1987–1992
- Roy PM, Colombet I, Durieux P, Chatellier G, Sors H, Meyer G (2005) Systematic review and meta-analysis of strategies for the diagnosis of suspected pulmonary embolism. *BMJ* 331(7511):259
- Schiebler ML, Nagle SK, Francois CJ et al (2013) Effectiveness of MR angiography for the primary diagnosis of acute pulmonary embolism: clinical outcomes at 3 months and 1 year. *J Magn Reson Imaging* 38(4):914–925
- Stein, Chenevert TL, Fowler SE et al (2010) Gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography for pulmonary embolism: a multicenter prospective study (PIOPED III). *Ann Intern Med* 152(7):434–443, W142–3
- Engelberger RP, Kucher N (2014) Ultrasound-assisted thrombolysis for acute pulmonary embolism: a systematic review. *Eur Heart J* 35(12):758–764
- Meinel FG, Nance JW Jr., Schoepf UJ et al (2015) Predictive value of computed Tomography in acute pulmonary embolism: systematic review and meta-analysis. *Am J Med* 128(7):747–59e2
- Hartmann U, Wittenberg R, Schaefer-Prokop C (2010) Imaging of acute pulmonary embolism using multi-detector CT angiography: an update on imaging technique and interpretation. *Eur J Radiol* 74(1):40–49
- Delesalle MA, Pontana F, Duhamel A et al (2013) Spectral optimization of chest CT angiography with reduced iodine load: experience in

- 80 patients evaluated with dual-source, dual-energy CT. *Radiology* 267(1):256–266
23. Apfaltrer P, Bachmann V, Meyer M et al (2012) Prognostic value of perfusion defect volume at dual energy CTA in patients with pulmonary embolism: correlation with CTA obstruction scores, CT parameters of right ventricular dysfunction and adverse clinical outcome. *Eur J Radiol* 81(11):3592–3597
  24. Heusch P, Lanzman RS, Aissa J et al (2014) Evaluation of a high iodine delivery rate in combination with low tube current for dose reduction in pulmonary computed tomography angiography. *J Thorac Imaging* 29(5):293–297
  25. Bae KT (2010) Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches. *Radiology* 256(1):32–61
  26. Furlan A, Aghayev A, Chang CC et al (2012) Short-term mortality in acute pulmonary embolism: clot burden and signs of right heart dysfunction at CT pulmonary angiography. *Radiology* 265(1):283–293
  27. Kang DK, Thilo C, Schoepf UJ et al (2011) CT signs of right ventricular dysfunction: prognostic role in acute pulmonary embolism. *JACC Cardiovasc Imaging* 4(8):841–849
  28. Javadrashid R, Mozayan M, Tarzamni MK, Ghaffari MR, Fouladi DF (2015) Spiral computed tomographic pulmonary angiography in patients with acute pulmonary emboli and no pre-existing comorbidity: a prospective prognostic panel study. *Eur Radiol* 25(1):147–154
  29. Farrell C, Jones M, Girvin F, Ritchie G, Murchison JT (2010) Unsuspected pulmonary embolism identified using multidetector computed tomography in hospital outpatients. *Clin Radiol* 65(1):1–5
  30. Leung AN, Bull TM, Jaeschke R et al (2012) merican thoracic society documents: an official american thoracic society/society of thoracic radiology clinical practice guideline – evaluation of suspected pulmonary embolism in pregnancy. *Radiology* 262(2):635–646
  31. Morse M (2004) Establishing a normal range for D-dimer levels through pregnancy to aid in the diagnosis of pulmonary embolism and deep vein thrombosis. *J Thromb Haemost* 2(7):1202–1204
  32. Webb JA, Thomsen HS, Morcos SK, Members of Contrast Media Safety Committee of European Society of Urogenital R (2005) The use of iodinated and gadolinium contrast media during pregnancy and lactation. *Eur Radiol* 15(6):1234–1240



## CME-Punkte sammeln in 3 Schritten

Als Zeitschriftenabonnent stehen Ihnen in der e.Akademie auf [SpringerMedizin.de/cme](http://SpringerMedizin.de/cme) alle zertifizierten Fortbildungskurse Ihrer Zeitschrift zur Verfügung.

So einfach sammeln Sie CME-Punkte:

### ➤ Registrieren

Um CME-Fortbildungen in der e.Akademie bearbeiten zu können, müssen Sie sich einmalig auf [SpringerMedizin.de/cme](http://SpringerMedizin.de/cme) mit Ihrer Abonummer registrieren. Sind Sie bereits registriert, können Sie unter *Meine Daten > Abo hinzufügen* Ihre Abonummer hinterlegen und somit alle CME-Kurse Ihrer Zeitschrift freischalten. Sie finden die Abonummer auf Ihrem Adressetikett.

### ➤ Beitrag auswählen

Sobald Sie sich mit Ihren Zugangsdaten angemeldet haben, können Sie auf [SpringerMedizin.de/cme](http://SpringerMedizin.de/cme) die gewünschten CME-Kurse Ihrer Zeitschrift im PDF-Format (e.CME) nutzen. Die Kurse können jederzeit unterbrochen und später fortgesetzt werden.

### ➤ CME-Punkte sammeln

Zu jedem Fortbildungskurs gehört ein Fragebogen mit 10 CME-Fragen. Mit 7 richtigen Antworten haben Sie bestanden und erhalten umgehend eine Teilnahmebescheinigung!

Teilnehmen und weitere Informationen unter:  
[springermedizin.de/cme](http://springermedizin.de/cme)

Unser Tipp: Noch mehr Fortbildung bietet das e.Med-Kombi-Abo. Hier stehen Ihnen alle CME-Kurse der Fachzeitschriften von Springer Medizin in elektronischer Form zur Verfügung. Auf Wunsch erhalten sie mit dem e.Med-Kombi-Abo außerdem eine gedruckte Fachzeitschrift Ihrer Wahl.

Testen Sie e.Med 30 Tage kostenlos und unverbindlich!

Jetzt informieren unter  
[www.springermedizin.de/eMed](http://www.springermedizin.de/eMed)  
oder telefonisch unter 0800-77 80 777  
(Montag bis Freitag, 10 bis 17 Uhr)



# CME-Fragebogen

Bitte beachten Sie:

- Teilnahme nur online unter: [springermedizin.de/eAkademie](http://springermedizin.de/eAkademie)
- Die Frage-Antwort-Kombinationen werden online individuell zusammengestellt.
- Es ist immer nur eine Antwort möglich.

**? Welches ist der nächste Schritt im Algorithmus für Patienten ohne hohes Risiko mit hoher klinischer Wahrscheinlichkeit einer Lungenembolie?**

- D-Dimer-Test
- CTPA oder Szintigraphie
- Direkte Behandlung
- Echokardiographie
- Thoraxübersichtsaufnahme

**? Welches ist der nächste Schritt im Algorithmus für Patienten mit hohem Risiko einer Lungenembolie?**

- CTPA, falls direkt verfügbar
- Echokardiographie
- D-Dimer-Test
- Szintigraphie
- Ultraschall der tiefen Becken-/Beinvenen

**? Wann ist eine Lungenembolie mit dem D-Dimer-Test ausgeschlossen?**

- Wenn der D-Dimer-Test negativ ist
- Wenn die D-Dimere >500 sind
- Wenn die klinische Wahrscheinlichkeit einer Lungenembolie nicht hoch ist
- Wenn die CTPA negativ ist
- Wenn die V/P-Szintigraphie negativ ist

**? Wie hoch sind Sensitivität und Spezifität der V/P-Szintigraphie?**

- Sensitivität 88 %, Spezifität 88 %
- Sensitivität 78 %, Spezifität 98 %
- Sensitivität 80 %, Spezifität 95 %
- Sensitivität 82 %, Spezifität 92 %
- Sensitivität 75 %, Spezifität 99 %

**? Welcher der nachfolgend genannten Parameter ist neben dem Röhrenstrom der wichtigste Parameter zur Dosisreduktion in der CTPA?**

- Kollimation
- Rekonstruierte Schichtdicke
- Rotationszeit
- Röhrenspannung
- Pitch

**? Welcher der nachfolgend genannten Parameter ist bei der Kontrastmitteldosis entscheidend für ein gutes Enhancement in den Pulmonalarterien?**

- Jodflussrate
- Volumen
- Jodkonzentration
- Injektionsrate
- Kontrastmitteltemperatur

**? Wie kann man beim Atemkommando während der CTPA das Problem eines Valsalvamanövers des Patienten verhindern?**

- Mund offen lassen
- Bis drei zählen lassen
- Schnellen Scanner verwenden
- Grösseren Kontrastmittelflow verwenden
- Dual Energie verwenden

**? Welche der nachfolgend genannten Patientenparameter haben entscheidenden Einfluss auf das Kontrast-Enhancement?**

- Patientengewicht und kardiale Auswurfleistung
- Patientengröße und Patientengewicht

- Kardiale Auswurfleistung und Größe des linken Ventrikels
- Venengröße an der Punktionsstelle
- Körperrumfang des Patienten

**? Welcher der nachfolgend genannten Röhrenspannungswerte sollte der Standard (Ausgangswert) bei der CTPA sein?**

- 140
- 120
- 100
- 80
- 70

**? Welches der nachfolgend genannten Bildgebungsverfahren sollte bei Schwangeren primär zum Einsatz kommen?**

- Bei Verdacht einer DVT ein Ultraschall der Becken-/Beinvenen
- CTPA
- Szintigraphie
- MRA
- Keines der genannten Verfahren

Diese zertifizierte Fortbildung ist 12 Monate auf [springermedizin.de/eAkademie](http://springermedizin.de/eAkademie) verfügbar.

Dort erfahren Sie auch den genauen Teilnahmeabschluss. Nach Ablauf des Zertifizierungszeitraums können Sie diese Fortbildung und den Fragebogen weitere 24 Monate nutzen.



Für Zeitschriftenabonnenten ist die Teilnahme am e.CME kostenfrei

Hier steht eine Anzeige.

