

# Lungenembolie in der CT-Diagnostik – Normalprotokoll und Sonderfälle

Autor: Alex Riemer, freiberuflicher MTRA, Trainer, Dozent und Fachbuchautor

**Die CT-Angiographie der Pulmonalarterien (LAE-CT) zählt zu den häufigsten computertomographischen Notfalluntersuchungen in der diagnostischen Radiologie. Gleichzeitig gehört sie zu den Untersuchungen, vor der viele MTR großen Respekt haben und deren Ergebnisqualität, mehr als bei den meisten anderen CT-Untersuchungen, sehr stark von Patient:innen beeinflusst wird. Der Gedanke, dass der Scan nicht gut genug werde, macht viele Untersuchende nervös. Dem lässt sich vorbeugen.**

**W**ie alle kontrastmittelgestützten computertomographischen Untersuchungen erfolgt die LAE-CT in zehn Schritten. Einige dieser zehn Schritte sind für eine erfolgreiche Pulmonalis-CTA besonders wichtig und haben sehr großen Einfluss auf die Ergebnisqualität.

## Indikationsstellung

Die Hauptindikation der LAE-CT ist der Nachweis bzw. Ausschluss einer Lungenarterienembolie (LAE).

## Allgemeine Vorbereitung

Bei der allgemeinen Vorbereitung ist es wichtig, mögliche Voruntersuchungen und Vorbefunde sowie die Laborwerte (Kreatinin, eGFR, TSH) zu prüfen. Patient:innen müssen rechtswirksam durch eine:n Radiolog:in aufgeklärt werden.

## Patientenvorbereitung

Für die Untersuchung muss der Patient bzw. die Patientin das Untersuchungsgebiet freimachen und störende Fremdkörper und Metall entfernen. Zur Kontrastmittelgabe sollte eine grüne Verweilkanüle (18 Gauge) in die rechte Kubitalvene gelegt werden. Misslingt eine LAE-CT, liegt dies häufig an der schlechten Kontrastierung der Pulmonalgefäße, obwohl das Bolustracking und die Kontrastmittelgabe optimal waren. Grund ist die Art, wie die Patient:innen das Atemkommando ausführen und nicht die fehlende Kompetenz der Untersuchenden.

Der häufigste Grund des schlechten Kontrasts in den Pulmonalarterien ist das sogenannte TIC-Phänomen. Die Abkürzung steht für **T**ransient **I**nterruption of **C**ontrast (kurzzeitige Unterbrechung des Kontrasts) und bezeichnet ein strömungsbedingtes Phänomen. Dabei gelangt nicht-kontrastiertes Blut aus der unteren Hohlvene in das pulmonale Gefäßsystem und führt zu

einer Verdünnung des Kontrastmittels. Das verringert die diagnostische Qualität deutlich. Deshalb ist es so wichtig, den Patient:innen zu vermitteln, dass ihre Mitarbeit bei dieser Untersuchung einen sehr großen Einfluss auf das Untersuchungsergebnis hat. Um das TIC-Phänomen zu vermeiden, sollten Untersuchende ihren Patient:innen zwei Punkte erläutern:

- Einatmung ausschließlich durch die geschlossenen Lippen, d. h. also gegen einen Widerstand
- wenn möglich: Luftanhalten in einer mittleren Inspirationstiefe

## Aktiver Strahlenschutz

In den aktuellen Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (SSK) für den aktiven Strahlenschutz in der CT werden Strahlenschutzabdeckungen nicht explizit empfohlen. Trotzdem können Untersuchende sich für Folgendes entscheiden:

## Reduktion der Direktstrahlung

- Verwendung der sektoriellen Röhrenstrom-Absenkung (Organ Dosis Modulation z. B. OEM, ODM oder XCare), wenn der CT-Scanner dies ermöglicht, um die Intensität der Direktstrahlung der Schilddrüse und des Brustgewebes der Patient:innen zu reduzieren. Speziell bei Patientinnen ist die Sicherstellung der Positionierung der Brüste im Sektorbereich zu beachten. Dies erfolgt durch Absenkung des Röhrenstroms, z. B. durch Tragen eines Sport-BH. Wird dies nicht beachtet, kann es – je nach CT-Hersteller – sogar zu einer Dosiserhöhung bei der weiblichen Brust kommen.
- Wird ein Schilddrüsenschutz (Bismuth) verwendet, darf dieser erst nach dem Übersichtsradiogramm aufgelegt werden. Er sollte zur Reduzierung von Artefakten zusätzlich mit einem Abstandshalter von ca. 3 cm (z. B. Gelkissen, Zellstoffstapel) unterpolstert werden.

## Reduktion der Streustrahlung

- Bei Einwicklung der Becken- und Bauchregion in eine Bleigummimatte ist auf die Positionierung der Bleigummischürze zu achten. Diese soll einen Abstand von mindestens 5 cm vom Scanbereich haben und auf keinen Fall in den Untersuchungsbereich hineinragen.

## Patientenlagerung

Bei der Patientenlagerung ist folgendes zu beachten:

- Einnahme der Rückenlage: Head-First oder Feet-First
- Lagerung der Arme über dem Kopf (eleviert)
- Möglichst gestreckte Lagerung des geplanten Arms zur Kontrastmittelapplikation. Der Arm sollte zudem entspannt liegen, damit das Kontrastmittel ungehindert zum Herzen gelangen kann.

## Zentrierung für das Übersichtsradiogramm

Bei der Zentrierung für das Übersichtsradiogramm ist die Einstellung der Tischhöhe zu beachten. Der Seitenlaser muss auf die seitliche Thoraxmitte eingestellt werden, damit die Patient:innen sich im Isozentrum befinden und die Belichtungsautomatik den Röhrenstrom optimal anpassen kann. Weiter sollte das Übersichtsradiogramm so akquiriert werden, dass es von der Kinnspitze bis unterhalb der dorsalen Recessus reicht.

## Untersuchungsprotokoll und Untersuchungsplanung

Bei der Positionierung der Pre-Monitoring-Schicht zum Bolustracking auf Höhe des Bandscheibenfaches un-

terhalb der Trachealbifurkation wird in vielen Fällen den Truncus pulmonalis gut zeigt (Abb. 1). Trotzdem gibt es zahlreiche Fälle, bei denen sich auf den ersten Blick die Pre-Monitoring-Schicht scheinbar nicht für die Positionierung der ROI (Region of Interest) eignet (Abb. 1). Dies führt oft zur Wiederholung der Planungsschicht und auch zu Stress bei vielen Untersuchenden. Entgegen der gängigen Meinung eignen sich jedoch zahlreiche ROI-Positionen für das Bolustracking eines LAE-CT (Abb. 2).

Liegt eine fulminante zentrale Lungenembolie vor, kann es bei der Positionierung der ROI in einer der beiden Pulmonalis-Hauptstämme vorkommen, dass der Schwellenwert des Bolustrackings nicht erreicht wird. In diesem Fall muss der CT-Scan manuell gestartet werden.

## Kontrastmittelprotokoll

Eine zentrale Rolle spielt das Kontrastmittelprotokoll bei der LAE-CT als rein arterielle CT-Untersuchung. Es trägt maßgeblich zum Gelingen der Untersuchung bei. Dabei orientiert sich die Injektionsdauer des Kontrastmittelprotokolls an der Scanzeit der Untersuchung. Zur Ermittlung des optimalen Kontrastmittelvolumens kann folgende Formel genutzt werden:

$$\text{KM-Menge [ml]} = (\text{Scanzeit} + \text{Delay}^{\text{nBT}}) \times \text{Flow}$$

Delay<sup>nBT</sup> = Delay nach dem Bolustracking



Ein Gefäßkontrast von mindestens 250 HU muss erreicht werden. Um dies sicherzustellen, ist bei normalgewichtigen Patient:innen eine Jod-Einbringrate von 1200 mg Jod/s empfehlenswert. Abb. 3 zeigt ein

	Start	Ende	Ausrichtung	Länge
<b>1 Übersichtsradiogramm</b>	Kinnspitze	Bauchnabel	a-p. (+ lateral)	ca. 500 mm

	Lokalisation Planungsschicht	ROI-Position	Pre-Monitoring Delay
	Delay	Start	Ende
<b>3 LAE-CTA</b>	5s	Oberhalb Lungenspitzen	Hinterer unterer Lungenrezessus
			Scanrichtung
			cranio-caudal

© Alex Riemer

Abb. 1: Untersuchungsplanung und Position der Pre-Monitoring-Schicht (links) sowie ROI Position im Truncus pulmonalis (rechts)



Abb. 2: Mögliche ROI Positionen für das Bolustracking bei der LAE-CT

typisches und sehr verbreitetes und solides KM-Basis-Protokoll für die LAE-CT.

Neben der Injektionsgeschwindigkeit wird der Jodkontrast durch die Jodkonzentration des Kontrastmittels und vom Patientengewicht beeinflusst. Hier gilt: Je schwerer der Patient bzw. die Patientin ist (Abb. 4), desto schlechter wird der Gefäßkontrast, wenn das KM-Protokoll nicht angepasst wird. Daher ist eine Gewichtsanpassung des Flows sinnvoll.

Einen sehr großen Einfluss auf den Jodkontrast hat auch die Röhrenspannung. Daher wird für das LAE-CT die Verwendung einer geringeren Röhrenspannung als 120 kV empfohlen. Inwieweit die Röhrenspannung bei Patient:innen reduziert werden kann, hängt in erster

Linie von der Leistungsfähigkeit des CT-Scanners und dem Patientengewicht ab. Dabei führt die Reduktion der Röhrenspannung um eine Stufe (20 kV) zu einer Verbesserung des Jodkontrasts um 20 Prozent.

### Rekonstruktion

Bezüglich der Bild-Rekonstruktionen werden von der aktuellen Leitlinie der Bundesärztekammer zur „Qualitätssicherung in der Computertomographie“ mehrere Rekonstruktionen empfohlen. Axial: maximal 1 mm im Weichteil und Lungenfenster. Zur Beurteilung der zum Teil sehr dünnkalibrigen Pulmonalgefäße in der multiplanaren Reformation (MPR) sind folgende Schichtdicken empfohlen: Sagittal: 2 mm (3 mm) und Coronal: 2 mm (3 mm).

Volumen	Konzentration KM	Förderrate	Injektionsdauer
1 80 (*) ml	100 %	4.0 ml/s	20 s
2 40 ml	0 %	4.0 ml/s	10 s

(\*) Je nach CT-Typ und Scangeschwindigkeit, kann es ggf. sinnvoll sein, das o.g. Kontrastmittelvolumen mit Hilfe der folgenden Formeln anzupassen:

CT-Zeilenzahl	Berechnung des KM-Volumens
bis 16-Zeiler	Scanzeit x Flow
ab 16 Zeilen	(Scanzeit + 5) x Flow
ab 80 Zeiler (inkl. High-Pitch-CT)	(Scanzeit + 15) x Flow

Abb. 3: KM-Protokoll Empfehlung

Jodkonzentration	Empfohlene Injektionsgeschwindigkeiten bezogen auf 120 kV			
	bis 70 kg	71 bis 100 kg	101 bis 120 kg	ab 121 kg
300 mg Iod/ml	4,0 ml/s	4,5 ml/s	5,0 ml/s	5,5 ml/s
320 mg Iod/ml	4,0 ml/s	4,5 ml/s	5,0 ml/s	5,5 ml/s
350 mg Iod/ml	3,5 ml/s	4,0 ml/s	4,5 ml/s	5,0 ml/s
370 mg Iod/ml	3,5 ml/s	4,0 ml/s	4,5 ml/s	5,0 ml/s
400 mg Iod/ml	3,0 ml/s	3,5 ml/s	4,0 ml/s	4,5 ml/s

© Alex Riemer

Abb. 4: Empfehlung für gewichtsadaptierte Injektionsgeschwindigkeiten

## Was aber, wenn der Normalfall nicht anwendbar ist?

Dann wird ein Plan B für die Durchführung der CT-Angiographie der Pulmonalarterien benötigt, denn nicht immer liegen in der CT optimale Untersuchungsbedingungen vor. Oft können Patient:innen die Luft nicht anhalten, haben schlechte Venen oder sind adipös, etc. Trotz dieser Einschränkungen muss in der Untersuchung ein aussagekräftiges Ergebnis erreicht werden. Hier einige Lösungsoptionen der häufigsten Probleme:

### Luft kann nur kurz angehalten werden

- Wenn möglich, ist die Akquisitionsdauer zu verkürzen. Dies kann durch Erhöhung des PITCH und/oder durch Beschleunigung der Rotationszeit erreicht werden. Je nach Leistungsfähigkeit des CT-Scanners ist möglicherweise das Aufbringen der benötigten Röhrenleistung für adipöse Patient:innen schwierig.
- Bei 16-Zeilen CT-Scannern: Verwendung der Kollimation mit der größten Detektorbreite (z. B. 16 x 1,2 mm statt 16 x 0,6 mm). Die aktuelle Leitlinie der Bundesärztekammer empfiehlt zwar eine Kollimation von unter 1 mm, aber bei Patient:innen, die die Luft nur kurz anhalten können, zeigen die Erfahrungswerte des Autors, dass die große Kollimation aufgrund der Halbierung der Scandauer und der Verminderung der Atemartefakte erfolgreich ist. Bei CT-Scannern mit mehr als 16 Zeilen werden immer Kollimationen von unter 1mm verwendet.

### Luft kann nicht angehalten werden

- Empfehlung: Anweisung des Patienten bzw. der Patientin zur möglichst ruhigen und flachen Atemweise.
- Zusätzlich kann eine höhere Scangeschwindigkeit die entstehenden Bewegungsartefakte reduzieren. Dabei ist der PITCH der wichtigste Parameter, da ein CT Protokoll mit einem hohen PITCH deutlich weniger anfällig für Atemartefakte ist.

## Schlechte Venensituation ermöglicht nur eine langsame Injektionsgeschwindigkeit von 2 ml/s

### Normalgewichtige:

Grundsätzlich ist für ein optimales LAE-CT eine hohe Jod-Einbringrate (mind. 1200 mg Iod/s) und somit ein

hoher Flow wichtig. Das ist jedoch bei einer schlechten Venen-Situation oft nicht möglich. Eine Reduktion der Injektionsrate führt zu einem signifikant schlechteren Gefäßkontrast. So lässt sich bei normalgewichtigen Patient:innen trotzdem ein ausreichender Gefäßkontrast erreichen:

- Wenn möglich, Verwendung eines Kontrastmittels mit einer möglichst hohen Jodkonzentration
- Reduktion der Injektionsgeschwindigkeit am Injektor auf z. B. 2 ml/s
- Reduktion der Röhrenspannung um z. B. eine Stufe (120 -> 100 kV oder 130 -> 110 kV). Bei sehr leistungsfähigen Scannern kann die Röhrenspannung auf 80 kV reduziert werden, wenn genug Röhrenleistung vorhanden ist. Einige CT-Scanner arbeiten mit einer Auto-kV Software (Canon: SureKV, GE: AutokV und Siemens: CarekV). Diese Scanner verwenden automatisch die niedrigste Röhrenspannung, so dass sich der Jodkontrast verstärkt und so den Kontrastverlust durch den reduzierten Flow kompensiert.
- Sind die genannten Parameter angepasst, kann wie üblich untersucht werden.

### Adipöse Patient:innen

Beim Vorliegen einer schlechten Venensituation bei adipösen Patient:innen in Kombination mit einer Reduktion der Injektionsrate kommt es zu einer doppelten Verschlechterung des Gefäßkontrasts. Allerdings kann bei den meisten CT-Scannern für adipöse Patient:innen die Röhrenspannung nicht reduziert werden, um den Kontrastverlust auszugleichen. Hier ein Lösungsvorschlag:

- Empfehlung: Verwendung eines Kontrastmittels mit einer möglichst hohen Jodkonzentration
- Anpassung der Kontrastmittelmenge an das Patientengewicht:
  - 300'er KM: 1,2 ml/kg Körpergewicht
  - 350'er - 400'er KM: 1 ml/kg Körpergewicht
- Reduktion der Injektionsgeschwindigkeit am Injektor auf z.B. 2 ml/s
- Anschließend die Injektionsdauer am Injektor ablesen
  - Beispiel: 120 kg Patient @ 300'er KM = 145 ml KM
  - 145 ml KM @ 2ml/s = 72 s Injektionsdauer
- Löschen des Bolustrackings aus dem CT-Protokoll und Eingabe eines festen Delays von z. B. 72s
- Gleichzeitiger Start der KM-Injektion und des CT-Scans. Die Akquisition startet nach 72s (wenn die KM-Injektion abgeschlossen ist).

Mit den geschilderten Schritten der CT-Angiographie in der Lungenemboliediagnostik kann im Normalfall eine ausreichende diagnostische Qualität erreicht werden. Die Empfehlungen des Plan B in der CT-Angiographie sollen helfen, diese Qualität auch für Sonderfälle zu gewährleisten.

Die Literatur kann beim Autor unter [info@alex-riemer.de](mailto:info@alex-riemer.de) erfragt werden.