

SGPH Newsletter

Schweizerische Gesellschaft für Pulmonale Hypertonie

Dual-Energy-Computertomographie (DECT) bei pulmonaler Hypertonie

Anne-Lise Hachulla, Frédéric Lador, Paola M. Socal, Xavier Montet und Maurice Beghetti im Namen der Schweizerischen Gesellschaft für Pulmonale Hypertonie



Die pulmonale Hypertonie (PH) ist durch pathologische hämodynamische Parameter charakterisiert, wobei der mittlere pulmonal-arterielle Druck (mPAP) in Ruhe, gemessen mittels Rechtsherzkatheteruntersuchung, mindestens 25 mmHg oder mehr beträgt (1). Da diesem Phänomen verschiedene klinische Ursachen zugrunde liegen, wurden fünf ätiologische PH-Gruppen gemäss unterschiedlicher Pathologien definiert (2) (Tabelle 1). Die PH-Diagnose erfolgt wegen der schleichend einsetzenden Symptome häufig mit erheblicher Verzögerung, in einem Stadium mit bereits schweren hämodynamischen Veränderungen (3, 4). Die nächste diagnostische Herausforderung ist die Zuordnung des Patienten zur jeweiligen PH-Gruppe, um einen optimalen Therapieentscheid f llen zu können (5, 6). Die konventionelle Computertomographie (CT) kann pulmonale oder vaskuläre Abnormitäten aufdecken. Die neuere Technologie der Dual-Energy-Computertomographie (DECT) liefert darüber hinaus funktionelle Informationen. Es wurden neue, nicht invasive Techniken entwickelt, welche die funktionelle Bildgebung und diagnostische Sicherheit erhöhen können (7-11). Die Magnetresonanztomographie (MRI) ermöglicht zwar auch eine funktionelle Quantifizierung, sie ermöglicht jedoch keine optimale Visualisierung des

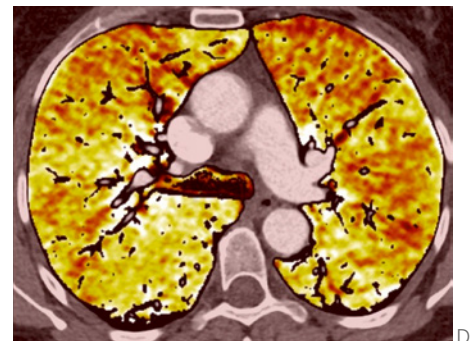
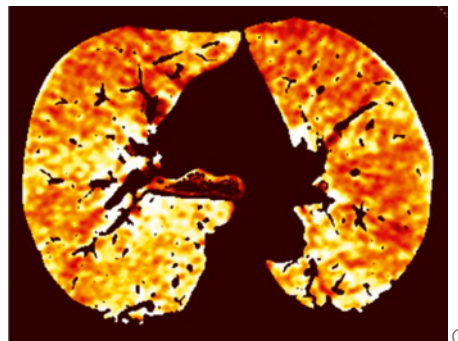
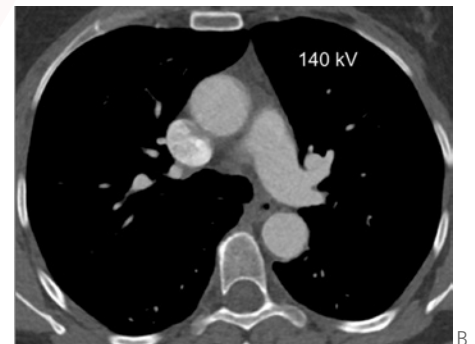
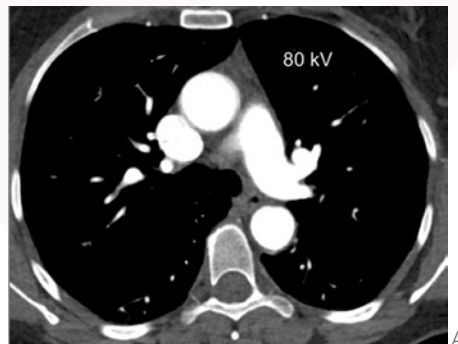


Abbildung 1: Das Dual-Energy-System besteht aus 2 R ntgenstrahlern. Dies erlaubt die simultane Detektion der Jod-Absorption bei 80 kV (A) und 140 kV (B), um eine Jodkarte zu erstellen (C), die mit der mediastinalen Darstellung kombiniert wird (D).

Lungenparenchyms (12). Die DECT hingegen erlaubt eine Kombination morphologischer Bildgebung mit funktionellen Informationen zur Lungenperfusion. In diesem Artikel wird die potenziell wichtige Rolle der DECT für die Bildgebung bei PH erläutert (13, 14).

Wie funktioniert die DECT?

Es gibt unterschiedliche DECT-Techniken. Allen gemeinsam ist, dass die Bilder in einer einzigen Untersuchung generiert werden. Es ist kein zusätzliches jodhaltiges Kontrastmittel notwendig, und es besteht keine erhöhte Strahlenbelastung, weil die Strahlendosis bei der DECT-Technologie zwischen den beiden Strahlenquellen aufgeteilt wird. Jod absorbiert Röntgenstrahlung bei 80 und 140 kV. Die beiden Absorptionsmaxima werden in der DECT simultan von zwei Detektoren erfasst und daraus entsprechende Bilder errechnet. Die DECT kann sowohl pulmonale Blutvolumina darstellen als auch die Jodkonzentration im Parenchym quantifizieren.

Tabelle 1

Klinische Klassifikation der pulmonalen Hypertonie

Gruppe 1	Pulmonal-arterielle Hypertonie (PAH)
Gruppe 2	Pulmonale Hypertonie aufgrund von Linksherzerkrankung
Gruppe 3	Pulmonale Hypertonie aufgrund von Lungenerkrankung und/oder Hypoxie
Gruppe 4	Chronisch thromboembolische pulmonale Hypertonie (CTEPH)
Gruppe 5	Pulmonale Hypertonie aufgrund unklarer, multifaktorieller Ursachen

Man konnte zeigen, dass die lokale Verteilung des jodhaltigen Kontrastmittels gut mit der pulmonalen Perfusion korreliert (15). Die pulmonalen Blutvolumina-karten werden mit mediastinalen Bildern kombiniert, was eine simultane Analyse der Gefässe (Graustufen) sowie der parenchymalen Perfusion (farbig) ermöglicht (Abbildung 1) und darüber hinaus quantitative Aussagen anhand der Jodkonzentration in der Lunge. Die mit der DECT erzeugten parenchymalen Jodkarten korrelieren gut mit der Szintigraphie. Mehrere Studien haben bereits gezeigt, dass die DECT-Perfusionskarten, ähnlich wie eine Szintigraphie, die qualitative und quantitative Evaluation der hypoperfundierten Lungenareale erlauben (16, 17). Darüber hinaus ermöglicht die DECT aufgrund der simultanen Darstellung von vaskulärer Anatomie, parenchymaler Morphologie und funktioneller Perfusion hervorragende anatomische und funktionelle Erkenntnisse ohne zusätzliche Strahlenbelastung. Die DECT weist somit klare Vorteile im Vergleich mit der konventionellen CT oder der pulmonalen Szintigraphie auf (siehe Tabelle 2). Für den klinischen Einsatz sind viele Anwendungsbereiche verfügbar. Jod-Perfusionskarten sind bei der Evaluation akuter Lungenembolien bereits etabliert. Trotzdem bedürfen diese Jodkarten einer sorgfältigen Interpretation. Potenzielle Fallstricke sind Artefakte, wie sie beispielsweise aufgrund der Bewegung in Herz- und Zwerchfellnähe entstehen können. Jodkarten bedürfen überdies immer der Interpretation mit Bezug auf morphologische Veränderungen, um Fehldeutungen segmentaler Perfusionsdefekte zu vermeiden, wie sie bei einem

Tabelle 2

Vergleich zwischen konventioneller CT, Lungen-Szintigraphie und DECT zur Bildgebung bei pulmonaler Hypertonie

	konventionelles CT	DECT	Lungen-Szintigraphie
Gefässe	Durchmesser der Arterien		keine morphologischen Befunde
	Diagnose von pulmonal-arteriellen Thromben, Stenosen, Okklusionen, «webs and bands»		
	systemische arterielle Befunde		
	kardiale Veränderungen (RV-Dilatation und -Hypertrophie)		
Parenchym	Mosaik-Perfusion der Lunge		keine parenchymalen Befunde Ventilationsszintigraphie: Ventilations-Perfusions-Verhältnis
	pulmonale Infarkte		
	Milchglasherde «ground glass nodules»		
Perfusion	kein Perfusionsbefund	Jodkarten korrelieren mit Szintigraphie: gut definierte segmentale Perfusionsstörungen oder «marmoriert-fleckiges» Muster	Goldstandard für Perfusionsbefund: gut definierte segmentale Perfusionsstörungen oder «marmoriert-fleckiges» Muster
		mit regionalen Befunden	

CT: Computertomographie; DECT: Dual-Energy-CT; RV: rechter Ventrikel

Emphysem oder Bronchopathien auftreten. Auch unterliegt die DECT gewissen Limitationen bei adipösen Patienten (BMI > 30 kg/m²) und bei Patienten mit schwerer Tachypnoe.

DECT bei CTEPH

Typisch für die chronisch thromboembolische pulmonale Hypertonie (CTEPH) sind segmentale Perfusionsstörungen (18-22), wie sie auch bei einer akuten Lungenembolie auftreten. Die typischen triangulären Perfusionsdefekte treten insbesondere in Segmenten mit schweren pulmonal-arteriellen Schäden auf, als Folge sogenannter «webs» und «bands» (quer verlaufende netzförmige Strukturen

und Membranen), Stenosen oder Okklusionen (20). Das Ausmass der mittels DECT sichtbaren Perfusionsstörungen könnte ein prognostischer Parameter für die Thrombendarterektomie sein (21). Somit kann die DECT mit einer einzigen Untersuchung Daten für die Diagnose, Therapieplanung und das Follow-up bei CTEPH liefern, und sie korreliert gut mit der pulmonalen Angiographie und Szintigraphie. Trianguläre Lungenperfusionsdefekte bei CTEPH werden in der DECT auch dann deutlich sichtbar, wenn eine distale arterielle Okklusion vorliegt. Die konventionelle CT-Angiographie (CTA) kann zwar unmittelbare vaskuläre Anzeichen einer CTEPH oder eine Mosaik-Perfusion aufde-



Swiss Society for Pulmonary Hypertension SSPH
Schweizerische Gesellschaft für Pulmonale Hypertonie SGPH
Société Suisse pour l'Hypertension Pulmonaire SSHP
Società Svizzera per l'Ipertensione Polmonare SSIP

SSPH Workshop 2019
Swiss Society for Pulmonary Hypertension

November 08 - 09, 2019
Art Deco Hotel Montana, Luzern
www.sgph.ch



cken (23), periphere, subsegmentale Okklusionen sind mit der CTA jedoch eher schlecht zu erkennen. Auch liefert die konventionelle CTA keine funktionellen Informationen zur Lungenperfusion. Aus diesen Gründen hat eine CTA (mit nur einer Strahlenquelle) im Vergleich zur selektiven Lungenangiographie nur eine 64- bis 70-prozentige Sensitivität bezüglich segmentaler und subsegmentaler chronischer Thromboembolien (24). Dies ist auch der Grund dafür, dass die Sensitivität der konventionellen CTA bei der CTEPH-Diagnose nur mit 51 Prozent beziffert wird, während sie bei der Szintigraphie 97 Prozent beträgt (25). Eine DECT hingegen kann Perfusionskarten generieren, die vergleichbare funktionelle Informationen liefern wie eine Perfusionszintigraphie, und sie kann in einer einzigen Untersuchung gleichzeitig hoch aufgelöste anatomische Bilder der Gefäße mit funktioneller Bildgebung kombinieren (Abbildung 2). Darüber hinaus ermöglicht eine nachfolgende Analyse der hypoperfundierten Regionen das Auffinden subsegmentaler Anzeichen der CTEPH; dies dürfte die Sensitivität der Diagnose erhöhen.

Die DECT-Jodkarten haben eine höhere Auflösung als andere Bildgebungsverfahren und erlauben darum die Darstellung kleinerer hypoperfundierter Regionen. Die Auflösung der DECT beträgt 0,5 mm gegenüber 7 bis 8 mm bei der Szintigraphie und 3 bis 4 mm bei der SPECT (CT mit Radionuklidtracer). Allerdings können intra-arterielle Defekte nur bei Gefäßen ab mindestens 2 mm Durchmesser zuverlässig detektiert werden. Dies ist auch der Grund dafür, dass gelegentlich von Perfusionsdefekten berichtet wird, bei denen in der CTA kein Thrombus sichtbar war (26, 27). Die Szintigraphie liefert keine morphologischen Informationen, wie etwa zu parenchymalen Veränderungen oder zur vaskulären Anatomie. Sie kann diagnostisch in die Irre führen (z.B. zum fälschlichen Befund einer akuten Lungenembolie). Der integrierte DECT-Ansatz hingegen, der die Lungen- und Gefässanalyse mit funktionellen Parametern zu kombinieren vermag, kann darum vorteilhafter sein als eine Ventilations-/Perfusionszintigraphie mit anschließender CTA. In der Szintigraphie kann das gleichzeitige Vorliegen von Ventilations- und

Take home messages

- Die Dual-Energy-Computertomographie (DECT) ermöglicht die gleichzeitige Analyse morphologischer und funktioneller Lungenparameter, in der Regel während einer einzigen Untersuchung, ohne erhöhte Strahlenbelastung und ohne zusätzliche intravenöse Gabe eines jodhaltigen Kontrastmittels.
- In einer einzigen DECT-Untersuchung ist die komplette Bildgebung mit Darstellung der vaskulären Anatomie, der parenchymalen Morphologie sowie der funktionellen Bewertung verschiedener Formen der pulmonalen Hypertonie (PH) möglich.
- Auch die pulmonal-arterielle Hypertonie (PAH) aufgrund einer kongenitalen Herzerkrankung kann in einer einzigen DECT-Untersuchung analysiert werden, bereits bei Neugeborenen.
- Es wurden auch DECT-Anwendungen zur Bildgebung der Ventilation und der myokardialen Perfusion entwickelt.

Perfusionsstörungen die Diagnose verfälschen, da die Frage, ob es sich dabei um eine physiologische Reaktion auf akute oder chronische vaskuläre Obstruktionen oder eine gleichzeitig bestehende obstruktive Atemwegserkrankung handelt, schwierig oder gar nicht zu beantworten ist. Darum müssen auch Perfusionsdefekte, die in der DECT zu sehen sind, mit morphologischen Veränderungen korreliert werden, um ihre klinische Bedeutung zu beurteilen.

DECT bei PAH und multifaktoriell bedingter PH

Mittlerweile kann die DECT nicht nur zur Bildgebung bei CTEPH eingesetzt werden, sondern auch zur Charakterisierung aller PH-Gruppen, wie es beispielsweise für die portopulmonale Hypertonie gezeigt wurde. Unterschiedliche DECT-Befunde wurden bei akuter Lungenembolie, CTEPH und idiopathischer PAH (IPAH) beschrieben. So sind die Perfusionsdefekte bei PAH kleiner und weniger deutlich als bei CTEPH. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass bei PAH infolge der vaskulären Endothelschädigung, Zellproliferation und Okklusion distaler Lungengefäße eine fokale Hypo- und Hyperperfusion auftritt. Heterogene Perfusionsmuster, die eine Mosaik-Perfusion bei PAH-Patienten widerspiegeln, könnten für die Diagnose sowie die Einschätzung von Schwere und Prognose der Erkrankung hilfreich sein. Perfusionsdefekte liefern darüber hinaus auch Hinweise auf die Ätiologie vaskulärer und

parenchymaler Auffälligkeiten. Die DECT gewinnt auch an Bedeutung für die Untersuchung kongenitaler Herzerkrankungen bei Erwachsenen und Kindern, auch bei Neugeborenen.

DECT bei PH aufgrund von Lungenerkrankungen und/oder Hypoxie

Die Perfusionsmessung mittels DECT kann auch bei Patienten mit PH aufgrund von Emphysem oder Lungenfibrose erfolgen. Das lokale Ausmass des Lungemphysems kann durch die Korrelation funktioneller Perfusionsbilder mit anatomischen Veränderungen eingeschätzt werden. Lee et al. beschreiben, dass die DECT für die Quantifizierung des Emphysems und die Evaluation der lokalen Perfusion mithilfe der Jodkarten geeignet ist (28). Bei einem Emphysem führt die Zerstörung von Alveolen und Interstitium zu einem Verlust pulmonaler Gefäße; dies ist die Ursache der verminderten Perfusion. Bei einer Lungenfibrose widerspiegeln die Perfusionsstörungen pathologische Prozesse, wie das Remodeling kleiner Gefäße oder einen fibrotischen Verschluss von Lungengefäßen. Die DECT wird auch zur Bildgebung der Lungenventilation eingesetzt. In mehreren Studien wurde die Darstellung der regionalen Lungenventilation nach Xenon- (29-31) oder Krypton-Inhalation (32) evaluiert. Mit der Xenon- oder Krypton-gestützten DECT können Ventilationskarten zur regionalen Ventilation, beispielsweise bei chronisch obstruktiver

Lungenerkrankung (COPD) oder Lungenfibrose erstellt werden. Die Kombination von Perfusions- und Ventilationskarten liefert ein umfassendes Abbild der Ventilation, Perfusion und Morphologie des Lungparenchyms.

DECT bei PH aufgrund von Linksherzerkrankung

PH aufgrund einer Linksherzerkrankung bewirkt eine Kaskade schädigender anatomischer und funktioneller Veränderungen des venösen, kapillären und arteriellen Lungenkreislaufs, welche letztlich das Eintreten einer Rechtsherzinsuffizienz beschleunigt. Symmetrische Perfusionsstörungen der unteren Lungenareale konnten bei Patienten mit Linksherzerkrankung bereits mehrfach mithilfe der Ventilations-/Perfusionsszintigraphie gezeigt werden; sie werden durch einen veränderten Blutfluss im Lungengewebe verursacht (33). Wie bereits erwähnt, ermöglicht die DECT auch eine kardiale Bildgebung (mit oder ohne Stresstest) (34-36), welche die simultane Erfassung von Stenosen der Koronararterien und myokardialer Perfusion erlaubt. Kombiniert mit einem Stresstest wird es möglich sein, hämodynamisch relevante koronare Stenosen zu identifizieren (37). Darum sollte die kardiale DECT für die Bildgebung bei Patienten mit Linksherzerkrankung erwogen werden.

SGPH Veranstaltungen 2019

09.-10. Mai 2019, Gemeinsame Jahrestagung 2019

der Schweizerischen Gesellschaften für Pneumologie (SGP) und Pulmonale Hypertonie (SGPH) sowie weiterer Gesellschaften
2m2c Montreux Music & Convention Centre, Montreux
www.pneumo-congress.ch

08.-09. November 2019, SSPH Workshop 2019

Swiss Society for Pulmonary Hypertension
Art Deco Hotel Montana, Luzern
www.sgph.ch

Dieser Artikel ist eine überarbeitete und gekürzte Übersetzung der englischsprachigen Publikation in Swiss Med Wkly 2016;146:w14328.

Literatur unter
www.sgph.ch/de/newsletter.html

Autoren:

PD Dr. med. Anne-Lise Hachulla
Dept. Radiologie,
Hôpitaux Universitaires Genève

PD Dr. med. phil. Frédéric Lador
Dept. Pneumologie,
Hôpitaux Universitaires Genève

Prof. Dr. med. Paola M. Gasche-Soccal
Dept. Pneumologie,
Hôpitaux Universitaires Genève

Prof. Dr. med. Xavier Montet
Dept. Radiologie,
Hôpitaux Universitaires Genève

Prof. Dr. med. Maurice Beghetti
Dept. Cardiologie pédiatrique,
Hôpitaux Universitaires Genève

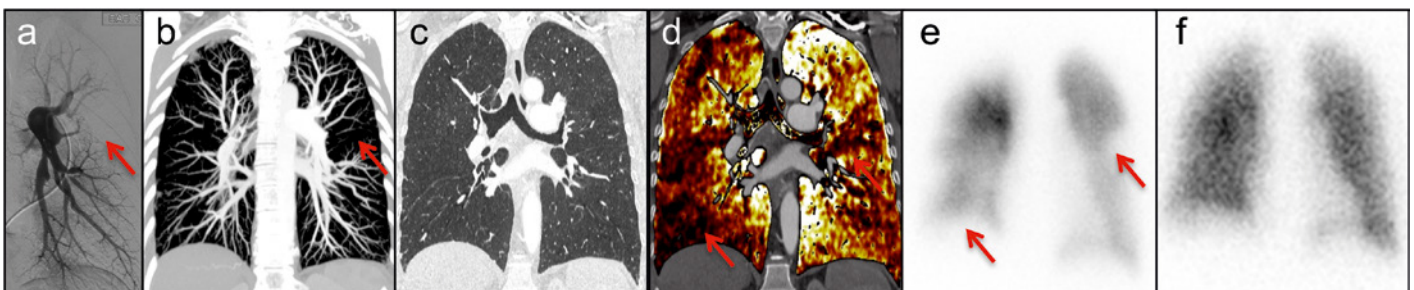


Abbildung 2: Die segmentalen Okklusionen der Pulmonalarterien (Pfeil) in der Lungenangiografie (a) sind in der CTA deutlich erkennbar (b). Darstellung der normalen Lunge (c). Die Okklusionen sind die Ursache für dreieckige Perfusionsdefekte (Sternchen) auf der Perfusionskarte (d). Bestätigung durch die Ventilations-Perfusions-Szintigraphie (e-f).

Redaktion: Prof. Dr. M. Schwerzmann, Prof. Dr. O. Schoch, Prof. Dr. L. Nicod, **verantwortlicher Redaktor:** Luca Lavina
Verlag: **IMK** Institut für Medizin und Kommunikation AG • Münsterberg 1, 4001 Basel • Tel. +41 61 271 35 51, Fax +41 61 271 33 38 • sgph@imk.ch
Markennamen können warenzeichenrechtlich geschützt sein, auch wenn ein entsprechender Hinweis fehlen sollte.
Für die Angaben zu Dosierung und Verabreichung von Medikamenten wird keine Gewähr übernommen.

Mit freundlicher Unterstützung durch Actelion. Der Sponsor hat keinen Einfluss auf den Inhalt der Publikation.

ISSN 1661-9226

 **ACTELION**
A JANSSEN PHARMACEUTICAL COMPANY
OF 