

SSHP Newsletter

Société Suisse pour l'Hypertension Pulmonaire

Tomodensitométrie à double énergie (DECT) en cas d'hypertension pulmonaire

Anne-Lise Hachulla, Frédéric Lador, Paola M. Soccà, Xavier Montet et Maurice Beghetti, au nom de la Société Suisse pour l'Hypertension Pulmonaire



L'hypertension pulmonaire (HTP) se caractérise par des paramètres hémodynamiques pathologiques, la pression artérielle pulmonaire moyenne (PAPm) au repos – mesurée au moyen d'un cathétérisme cardiaque droit – s'élevant à au moins 25 mmHg ou plus (1). Dans la mesure où ce phénomène a différentes causes cliniques, cinq groupes étiologiques d'HTP ont été définis selon différentes pathologies (2) (tableau 1). En raison du caractère insidieux des symptômes, le diagnostic d'HTP est souvent posé très tardivement, à un stade où les altérations hémodynamiques sont déjà sévères (3, 4). Le défi diagnostique suivant consiste à déterminer le groupe d'HTP dont souffre le patient afin de pouvoir prendre une décision thérapeutique optimale (5, 6).

La tomodensitométrie (TDM) conventionnelle peut permettre de détecter des anomalies pulmonaires ou vasculaires. La technologie récente de tomodensitométrie à double énergie (DECT) fournit en plus des informations fonctionnelles. De nouvelles techniques non invasives ont été développées, permettant d'améliorer l'imagerie fonctionnelle et la sécurité diagnostique (7-11). L'imagerie par résonance magnétique (IRM) permet certes aussi une quantification fonctionnelle, mais elle ne permet de

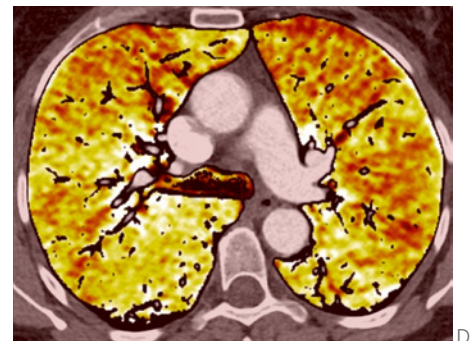
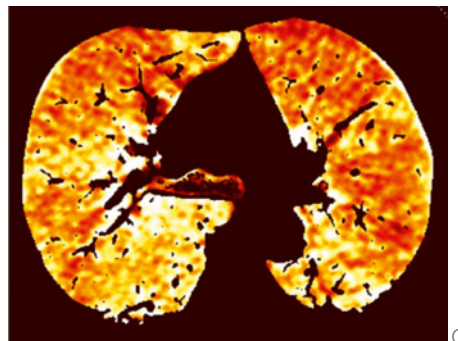
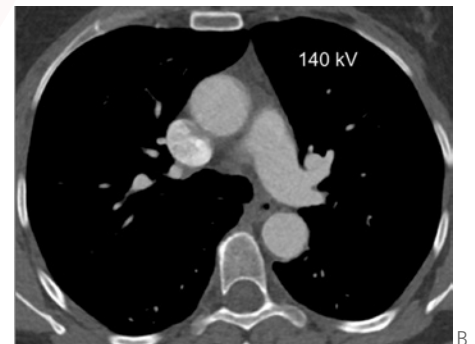
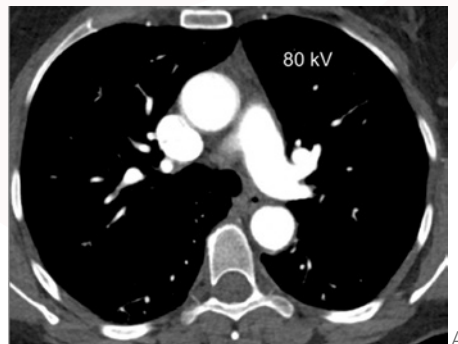


Figure 1: Le système à double énergie se compose de deux émetteurs de rayons X. Cela permet la détection simultanée de l'absorption d'iode à 80 kV (A) et 140 kV (B) afin d'établir une cartographie d'iode (C) qui est combinée à la représentation du médiastin (D).

visualiser le parenchyme pulmonaire de façon optimale (12). La DECT, en revanche, permet de combiner une imagerie morphologique et des informations fonctionnelles relatives à la perfusion pulmonaire. Cet article explique le rôle potentiellement central de la DECT dans l'imagerie en cas d'HTP (13, 14).

Comment fonctionne la DECT?

Il existe différentes techniques de DECT. Toutes ces techniques ont en commun le fait que les images sont générées au cours d'un seul examen. Aucune administration supplémentaire de produit de contraste iodé n'est nécessaire, et il n'y a pas d'exposition accrue aux radiations car, avec la technologie DECT, la dose de radiation est répartie entre les deux sources de radiation. L'iode absorbe les rayons X de 80 et 140 kV. Lors de la DECT, les deux maximales d'absorption sont enregistrées simultanément par deux détecteurs et les images correspondantes sont calculées. La DECT permet aussi bien de représenter les volumes sanguins pulmonaires que de quantifier la concentration d'iode dans le parenchyme.

Tableau 1

Classification clinique de l'hypertension pulmonaire

Groupe 1	Hypertension artérielle pulmonaire (HTAP)
Groupe 2	Hypertension pulmonaire due à une cardiopathie gauche
Groupe 3	Hypertension pulmonaire due à une pneumopathie et/ou hypoxie
Groupe 4	Hypertension pulmonaire thromboembolique chronique (CTEPH)
Groupe 5	Hypertension pulmonaire due à des causes multifactorielles indéterminées

Il a été montré que la répartition locale du produit de contraste iodé est bien corrélée avec la perfusion pulmonaire (15). Les cartographies du volume sanguin pulmonaire sont combinées à des images du médiastin, ce qui permet une analyse simultanée des vaisseaux (niveaux de gris) et de la perfusion du parenchyme (couleur) (figure 1), et fournit en outre des renseignements quantitatifs sur la base de la concentration d'iode dans le poumon. Les cartographies d'iode dans le parenchyme obtenues grâce à la DECT sont bien corrélées avec la scintigraphie. Plusieurs études ont déjà montré que les cartographies de perfusion de la DECT, à l'instar de la scintigraphie, permettent une évaluation qualitative et quantitative des zones pulmonaires hypoperfusées (16, 17). En outre, grâce à la représentation simultanée de l'anatomie vasculaire, de la morphologie du parenchyme et de la perfusion fonctionnelle, la DECT fournit d'excellentes informations anatomiques et fonctionnelles sans exposition supplémentaire aux radiations. La DECT présente donc des avantages clairs par rapport à la TDM conventionnelle ou à la scintigraphie pulmonaire (voir tableau 2). Il existe de nombreux domaines d'application dans le contexte clinique. Les cartographies de perfusion d'iode sont déjà établies dans l'évaluation des embolies pulmonaires aiguës. Toutefois, ces cartographies d'iode nécessitent une interprétation minutieuse. Les écueils potentiels sont les artefacts, tels qu'ils peuvent apparaître en raison du mouvement aux abords du cœur et du diaphragme. Les cartographies d'iode nécessitent de surcroît toujours une interprétation en lien avec les altérations morphologiques

Tableau 2

Comparaison entre TDM conventionnelle, scintigraphie pulmonaire et DECT pour l'imagerie en cas d'hypertension pulmonaire

	TDM conventionnelle	DECT	Scintigraphie pulmonaire
Vaisseaux	Diamètre des artères		Aucune anomalie morphologique
	Diagnostic de thrombi artério-pulmonaires, sténoses, occlusions, «webs and bands»		
	Anomalies artérielles systémiques		
	Altérations cardiaques (dilatation et hypertrophie du ventricule droit)		
Parenchyme	Perfusion en mosaïque des poumons		Aucune anomalie parenchymateuse Scintigraphie de ventilation: rapport ventilation/perfusion
	Infarctus pulmonaires		
	Nodules en verre dépoli «ground glass nodules»		
Perfusion	Aucune anomalie perfusionnelle	Les cartographies d'iode sont corrélées avec la scintigraphie: troubles perfusionnels segmentaires bien définis ou profil de «marbrures-taches»	Référence pour les anomalies perfusionnelles: troubles perfusionnels segmentaires bien définis ou profil de «marbrures-taches»
		Avec anomalies régionales	

TDM: tomодensitométrie; DECT: TDM à double énergie

afin d'éviter les erreurs d'interprétation de défauts perfusionnels segmentaires, comme ils surviennent en cas d'emphyseme ou de bronchopathie. Par ailleurs, la DECT présente certaines limitations chez les patients obèses (IMC > 30 kg/m²) et chez les patients souffrant de tachypnée sévère.

DECT en cas de CTEPH

Les troubles perfusionnels segmentaires sont typiques de l'hypertension pulmonaire thromboembolique chronique (CTEPH) (18-22), comme ils surviennent notamment en cas d'embolie pulmonaire aiguë. Les troubles perfusionnels triangulaires typiques surviennent en particulier dans les segments présentant des lésions artério-pulmonaires sévères qui résultent en conséquence des «webs» et «bands»

(structures et membranes réticulaires transversales), sténoses ou occlusions (20). L'étendue des troubles perfusionnels visibles à la DECT pourrait être un paramètre pronostique pour la thromboendartériectomie (21). Ainsi, la DECT fournit, en un seul examen, des informations pour le diagnostic, la planification du traitement et le suivi en cas de CTEPH, et elle est bien corrélée avec l'angiographie pulmonaire et la scintigraphie. En cas de CTEPH, les troubles perfusionnels triangulaires sont également nettement visibles à la DECT en présence d'une occlusion artérielle distale. L'angio-TDM conventionnelle permet certes de déceler des signes vasculaires directs d'une CTEPH ou une perfusion en mosaïque (23), mais les occlusions périphériques sous-segmentaires sont plutôt difficiles à détecter avec cette méthode. Qui plus est, l'an-



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, Lucerne
www.sgph.ch



gio-TDM conventionnelle ne livre pas d'informations fonctionnelles relatives à la perfusion pulmonaire. Par conséquent, par rapport à l'angiographie pulmonaire sélective, l'angio-TDM (avec une seule source de radiation) ne présente qu'une sensibilité de 64 à 70% en ce qui concerne les thromboembolies chroniques segmentaires et sous-segmentaires (24). C'est également la raison pour laquelle la sensibilité de l'angio-TDM conventionnelle n'est chiffrée qu'à 51% pour le diagnostic de la CTEPH, alors qu'elle est de 97% pour la scintigraphie (25). En revanche, la DECT peut générer des cartographies de perfusion qui fournissent des informations fonctionnelles comparables à la scintigraphie de perfusion et elle peut, au cours d'un seul examen, combiner à la fois des images anatomiques haute résolution des vaisseaux et une imagerie fonctionnelle (figure 2). En outre, une analyse consécutive des régions hypoperfusées permet de détecter des signes sous-segmentaires d'une CTEPH, ce qui pourrait accroître la sensibilité du diagnostic.

Les cartographies d'iode de la DECT possèdent une plus haute résolution que les autres procédés d'imagerie et permettent ainsi la représentation de plus petites régions hypoperfusées. La résolution de la DECT est de 0,5 mm, contre 7 à 8 mm pour la scintigraphie et 3 à 4 mm pour la TEMP (tomographie par émission monophotonique, ou TDM avec radionucléide-traceur). Cependant, les défauts intra-artériels ne peuvent être détectés avec fiabilité que pour des vaisseaux d'au moins 2 mm de diamètre. C'est également la raison pour laquelle des troubles perfusionnels pour lesquels l'angio-TDM ne montre aucun thrombus sont occasionnellement rapportés (26, 27). La scintigraphie ne fournit aucune information morphologique, par exemple sur les altérations parenchymateuses ou l'anatomie vasculaire. Sur le plan diagnostique, elle peut induire en erreur (par ex. amener à diagnostiquer à tort une embolie pulmonaire aiguë). À l'inverse, l'approche intégrée de la DECT, capable de combiner analyse des poumons et des vaisseaux et paramètres fonctionnels, peut donc être plus avantageuse qu'une scintigraphie de ventilation/perfusion suivie d'une angio-TDM. Lors de la scintigraphie, la présence concomitante de troubles de perfusion et de ventilation

Messages à retenir

- La tomодensitométrie à double énergie (DECT) permet l'analyse simultanée des paramètres pulmonaires morphologiques et fonctionnels, généralement au cours d'un seul examen, sans exposition accrue aux radiations et sans administration intraveineuse supplémentaire d'un produit de contraste iodé.
- Au cours d'un seul examen de DECT, il est possible d'obtenir une imagerie complète, avec représentation de l'anatomie vasculaire, de la morphologie du parenchyme et de l'évaluation fonctionnelle des différentes formes d'hypertension pulmonaire (HTP).
- L'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP) due à une cardiopathie congénitale peut également être analysée au cours d'un seul examen de DECT, et ce même chez le nouveau-né.
- Des applications de la DECT ont également été développées pour l'imagerie de la ventilation et de la perfusion myocardique.

peut fausser le diagnostic, car il est difficile voire impossible de répondre à la question de savoir s'il s'agit d'une réaction physiologique à des obstructions vasculaires aiguës ou chroniques, ou d'une affection obstructive concomitante des voies respiratoires. En conséquence, les troubles perfusionnels visibles à la DECT doivent également être mis en corrélation avec les altérations morphologiques afin de pouvoir évaluer leur valeur clinique.

DECT en cas d'HTAP et d'HTP multifactorielle

La DECT peut désormais être utilisée non seulement pour l'imagerie en cas de CTEPH, mais également pour la caractérisation de l'ensemble des groupes d'HTP, comme cela a notamment été montré pour l'hypertension portopulmonaire. Des anomalies différentes à la DECT ont été décrites en cas d'embolie pulmonaire aiguë, de CTEPH et d'hypertension artérielle pulmonaire idiopathique (HTAPi). Ainsi, les troubles perfusionnels sont plus petits et moins nets en cas d'HTAP qu'en cas de CTEPH. Cela est vraisemblablement attribuable au fait qu'en cas d'HTAP, une hypo- ou hyperperfusion focale apparaît suite à la lésion de l'endothélium vasculaire, à la prolifération cellulaire et à l'occlusion des vaisseaux pulmonaires distaux. Les profils perfusionnels hétérogènes reflétant une perfusion en mosaïque chez les patients atteints d'HTAP pourraient être utiles pour le diagnostic, l'évaluation de la sévérité et le pronostic de la maladie. Les troubles perfusionnels fournissent en outre des renseignements relatifs à l'étiologie

des anomalies vasculaires et parenchymateuses. La DECT gagne aussi en importance dans le cadre de l'examen des cardiopathies congénitales chez l'adulte, l'enfant et le nouveau-né.

DECT en cas d'HTP due à une pneumopathie et/ou hypoxie

La perfusion peut également être mesurée au moyen de la DECT chez les patients atteints d'HTP en raison d'un emphysème ou d'une fibrose pulmonaire. L'étendue locale de l'emphysème pulmonaire peut être évaluée en recoupant les images perfusionnelles fonctionnelles et les altérations anatomiques. Lee et al. ont décrit que la DECT est adaptée pour la quantification de l'emphysème et l'évaluation de la perfusion locale à l'aide des cartographies d'iode (28). En cas d'emphysème, la destruction des alvéoles et de l'interstitium entraîne une perte de vaisseaux pulmonaires, ce qui explique la baisse de la perfusion. Lors d'une fibrose pulmonaire, les troubles perfusionnels reflètent des processus pathologiques, tels que le remodelage de petits vaisseaux ou une occlusion fibrotique de vaisseaux pulmonaires. La DECT est également utilisée pour l'imagerie de la ventilation pulmonaire. Plusieurs études ont évalué la représentation de la ventilation pulmonaire régionale après inhalation de xénon (29-31) ou de krypton (32). Grâce à la DECT avec inhalation de xénon ou krypton, des cartographies de ventilation portant sur la ventilation régionale peuvent être générées, par ex. dans le cadre de la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) ou de la fibrose pulmonaire.

La combinaison de cartographies de perfusion et de ventilation fournit un aperçu complet de la ventilation, de la perfusion et de la morphologie du parenchyme pulmonaire.

DECT en cas d'HTP due à une cardiopathie gauche

L'HTP causée par une cardiopathie gauche provoque une cascade d'altérations anatomiques et fonctionnelles néfastes de la circulation pulmonaire veineuse, capillaire et artérielle, qui à terme accélèrent la survenue d'une insuffisance cardiaque droite. Des troubles perfusionnels symétriques des zones pulmonaires inférieures ont déjà été montrés à maintes reprises chez les patients présentant une cardiopathie gauche à l'aide de la scintigraphie de ventilation/perfusion; ces troubles sont causés par une altération du flux sanguin dans le tissu pulmonaire (33). Comme mentionné précédemment, la DECT peut également être utilisée pour l'imagerie cardiaque (avec ou sans test d'effort) (34-36), ce qui permet simultanément de détecter des sténoses des artères coronaires et d'évaluer la perfusion myocardique. En association avec un test d'effort, il sera possible d'identifier les sténoses coronaires hémodynamiquement pertinentes (37). Il convient donc d'envisager la DECT cardiaque pour les examens d'imagerie chez les patients présentant une cardiopathie gauche.

Manifestations SSHP 2019

09-10 mai 2019,

Réunion annuelle commune 2019

Société Suisse de Pneumologie (SSP), Société Suisse pour l'Hypertension Pulmonaire (SSHP) et d'autres sociétés
2m2c Montreux Music & Convention Centre, Montreux
www.pneumo-congress.ch

08-09 novembre 2019,
SSPH Workshop 2019

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

Cet article est une traduction retravaillée et raccourcie de l'article en langue anglaise paru dans *Swiss Med Wkly* 2016;146:w14328.

Références disponibles sur
www.sgph.ch/fr/newsletter.html.

Auteurs:

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

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

Pr Dr méd. Paola M. Gasche-Soccal
Dept. Pneumologie,
Hôpitaux Universitaires Genève

Pr Dr méd. Xavier Montet
Dept. Radiologie,
Hôpitaux Universitaires Genève

Pr Dr méd. Maurice Beghetti
Dept. Cardiologie pédiatrique,
Hôpitaux Universitaires Genève

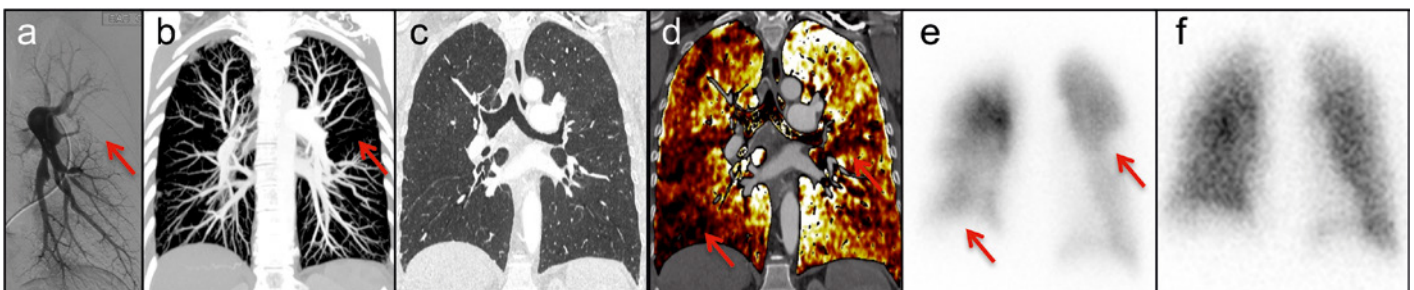


Figure 2: Les occlusions segmentaires des artères pulmonaires (flèche) à l'angiographie pulmonaire (a) sont clairement visibles lors de l'angio-TDM (b), avec poumons normaux (c), et responsables de défauts de perfusion triangulaires (étoiles) sur les cartographies de perfusion (d) confirmés par la scintigraphie de ventilation-perfusion (e-f).

Rédaction: Pr M. Schwerzmann, Pr O. Schoch, Pr L. Nicod, **Responsable de la rédaction:** Luca Lavina
Editeur: **IMK** Institut pour la médecine et la communication SA • Münsterberg 1, 4001 Bâle • Tél. +41 61 271 35 51, Fax +41 61 271 33 38 • sgph@imk.ch
Les noms de marque peuvent être protégés par le droit de protection des marques, même si cela n'est pas expressément précisé.
Aucune garantie n'est donnée pour les indications sur la posologie et le mode d'emploi des médicaments.

Avec l'aimable soutien de l'entreprise Actelion. Le sponsor n'a exercé aucune influence sur le contenu de l'article.

ISSN 1661-9226

**ACTELION**
A JANSSEN PHARMACEUTICAL COMPANY
OF 