



Disponible en ligne sur
SciVerse ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.com



REVUE GÉNÉRALE

Imagerie des pneumopathies infiltratives diffuses chroniques en tomodensitométrie : du diagnostic à la quantification automatisée

CT imaging of chronic interstitial lung diseases: From diagnosis to automated quantification

M. Wagner^a, K.C. Chang Chien^b, O. Aidara^a,
C. Fetita^b, M.W. Brauner^{a,c}, H. Nunes^{c,d},
D. Valeyre^{c,d}, P.Y. Brillet^{a,c,*}

^a Service de radiologie, hôpital d'Avicenne, Assistance publique–Hôpitaux de Paris, 125, rue de Stalingrad, 93009 Bobigny, France

^b Artemis, département telecom et management Paris-Sud, 9, rue Charles-Fourier, 91011 Evry cedex, France

^c EA 2363, UFR SMBH, laboratoire réponses cellulaires et fonctionnelles à l'hypoxie, université Paris-13, 74, rue Marcel-Cachin, 93017 Bobigny cedex, France

^d Service de pneumologie, Assistance Publique–Hôpitaux de Paris, hôpital d'Avicenne, 125, rue de Stalingrad, 93009 Bobigny, France

Reçu le 28 décembre 2010 ; accepté le 2 avril 2011

Disponible sur Internet le 8 novembre 2011

MOTS CLÉS

Pneumopathies infiltratives diffuses ;
Tomodensitométrie ;
Diagnostic assisté par ordinateur ;
Évaluation quantitative

Résumé La tomodensitométrie a une place essentielle dans le diagnostic et le suivi des pneumopathies infiltratives diffuses chroniques (PID). L'amélioration de la qualité des images, d'une génération de machine à la suivante, permet une meilleure caractérisation lésionnelle, voire tissulaire (lésion inflammatoire potentiellement réversible, lésion fibreuse fixée). Le raisonnement diagnostique en imagerie a évolué avec les progrès technologiques. On est passé d'un raisonnement basé sur la lésion élémentaire prédominante (notion de *pattern* de type nodulaire, condensation alvéolaire, verre dépoli...), à un diagnostic basé sur l'association de plusieurs lésions élémentaires définissant un motif lésionnel (typiquement pour le diagnostic de fibrose pulmonaire idiopathique), puis aujourd'hui sur l'association de plusieurs motifs définissant un modèle lésionnel (par exemple pour l'analyse des images en verre dépoli). L'analyse des images tomodensitométriques, permet également une quantification de la sévérité de l'atteinte pulmonaire. Les résultats obtenus sont corrélés au pronostic de la maladie et permettent d'en suivre la progression. Cette quantification est le plus souvent basée sur des critères visuels.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : pierre-yves.brillet@avc.aphp.fr (P.Y. Brillet).

Le développement de logiciels de quantification automatisée pourrait être, dans un avenir proche, une aide pour le radiologue.

© 2011 SPLF. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Interstitial lung diseases;
Computed tomography;
Computer assisted diagnosis;
Quantitative evaluation

Summary Computed tomography is important for the diagnosis and follow-up of chronic diffuse interstitial lung diseases. Image quality has improved from each generation of scanner to the next and this continues to allow a better characterization of extent of pathology, or even the nature of the pathological process (potentially reversible inflammatory lesions compared to fibrotic lesions). The diagnostic imaging approach has evolved at the same time as technological developments. We initially thought in terms of the predominant lesions (nodular, alveolar consolidation, ground-glass opacity), and then moved to reasoning based on patterns, which are a combination of several elementary lesions (typically for the diagnosis of idiopathic pulmonary fibrosis). Nowadays, studies are focused on building models characterizing a specific disease and which combine several distinct patterns (typically for ground-glass opacity analysis). CT also allows a quantification of the extent of lung disease, which is linked to the prognosis of the disease and helps to monitor its progression. This quantification is usually based on visual criteria, the principles of which are summarized here. The development of automated quantification software could in the near future, be a support for the radiologist.

© 2011 SPLF. Published by Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

La tomographie assistée par ordinateur a une place essentielle dans le diagnostic et le suivi des pneumopathies infiltratives diffuses chroniques (PID). L'amélioration de la qualité des images, d'une génération de machine à la suivante, permet une meilleure caractérisation lésionnelle voire tissulaire (lésion inflammatoire potentiellement réversible, lésion fibreuse fixée [1]). Le raisonnement diagnostique en imagerie a évolué avec les évolutions technologiques. On est passé d'un raisonnement basé sur la lésion élémentaire prédominante (nodule, condensation alvéolaire, verre dépoli...), à un diagnostic basé sur l'association de plusieurs lésions élémentaires définissant un motif lésionnel (typiquement pour le diagnostic de fibrose pulmonaire idiopathique), puis aujourd'hui sur l'association de plusieurs motifs définissant un modèle lésionnel (par exemple pour l'analyse des images en verre dépoli). Parallèlement, les progrès de l'informatique pour le traitement d'image voient l'émergence d'outils automatisés de détection, caractérisation et quantification lésionnelle. L'objectif de cet article est de rappeler les bases du raisonnement radiologique en tomographie assistée par ordinateur devant une PID chronique, d'en connaître les limites et de rappeler les principes de la quantification lésionnelle.

Base du raisonnement pour le diagnostic des pneumopathies infiltratives diffuses chroniques en tomographie assistée par ordinateur

L'approche diagnostique des PID chroniques en tomographie assistée par ordinateur peut s'organiser en quatre étapes :

- vérification des paramètres techniques et de la qualité de l'examen [2,3];
- description des lésions élémentaires et des lésions associées;
- proposition d'une liste de diagnostics;
- intégration des données clinico-biologiques et évolutives.

Vérification des paramètres techniques et de la qualité de l'examen

Les premières choses à vérifier sont le degré d'inspiration, la qualité de l'apnée et l'adéquation entre le poids du patient et les paramètres techniques utilisés (kilovoltage, ampérage). Lors du bilan initial d'une PID, un kilovoltage de 120 kVp est conseillé, même s'il est aujourd'hui possible de réaliser sur certaines machines des acquisitions à 100 kVp par souci de radioprotection. Un ampérage de l'ordre de 1 mAs Kg est admis de sorte que l'objectif est d'obtenir un produit dose longueur < 200 mGy cm. Des acquisitions à plus faible dose ne sont pas recommandées, du fait du risque de créer de fausses images (faux verre dépoli) ou de masquer certaines lésions (non visibilité du rayon de miel). L'injection d'iode n'est pas recommandée, car elle risque de rendre plus difficile l'analyse des zones de verre dépoli, en augmentant la densité spontanée du parenchyme pulmonaire. Des acquisitions complémentaires sont parfois nécessaires afin d'affirmer ou d'infirmer des images de signification ambiguë. Ainsi, en cas d'image en verre dépoli d'interprétation difficile [4], par exemple chez les patients obèses, la réalisation de quelques coupes millimétriques échantillonnées tous les dix à 20 millimètres (mode séquentiel et non hélicoïdal), avec des paramètres d'irradiation standards (120 kVp, 100–200 mAs Kg), peut permettre de conclure. Par ailleurs, en cas de lésions de localisation uniquement postérieure, une acquisition complémentaire en pronat peut être ajoutée afin de déterminer le caractère réel de ces lésions et d'éliminer un simple effet gravito-dépendant lié au décubitus. Lors du suivi des patients et par souci de radioprotection, la réalisation de coupes en mode séquentiel peut être souhaitable. La présentation des données au clinicien est également un point important. Il est en effet indispensable de transmettre au clinicien des coupes fines millimétriques et donc de les graver (ou au moins un échantillonnage) sur les différents médias utilisés (CD-ROM par exemple).

- Afin d'obtenir des examens de qualité satisfaisante, le degré d'inspiration, la qualité de l'apnée et l'adéquation entre le poids du patient et les paramètres techniques utilisés (kilovoltage, ampérage) doivent être vérifiés et adaptés.
- En plus du compte-rendu, un support avec les coupes fines millimétriques (ou au moins un échantillonnage) en filtre pulmonaire doit être remis au clinicien.

Analyse des lésions élémentaires pulmonaires et des lésions associées

La deuxième étape du raisonnement [5,6], consiste à lister les différentes lésions élémentaires, à identifier une lésion prédominante, à préciser les caractéristiques de cette lésion et à rechercher les lésions associées médiastinales et extrathoraciques. L'analyse se fait principalement sur les coupes axiales transverses reconstruites avec un filtre favorisant la résolution spatiale (filtre pulmonaire). Dans certains cas, des reconstructions en projections d'intensité sont nécessaires [7], justifiant, à notre avis, la réalisation d'acquisitions volumiques lors du bilan initial d'une PID chronique. Ainsi, une analyse de coupes de 5–7 mm en MIP permette de démontrer l'existence d'une pathologie micronodulaire et de localiser les images à l'échelle du lobule pulmonaire secondaire. À l'inverse, des coupes en minIP permettent d'affirmer l'existence de bronchectasies par traction 1. Une analyse sur coupes fines, de l'ordre de 3 mm, permet de mieux analyser des plages de verre dépoli ou des lignes septales. L'analyse dans les plans coronaux [8] et frontaux est d'un intérêt plus limité.

Les lésions élémentaires sont classées en : micronodules (classés en fonction de leur distribution centrolobulaire, périlymphatique ou aléatoire), nodules (taille inférieure à 3 cm) et masses (taille supérieure à 3 cm), lignes et réticulations (septales ou intralobulaires), kystes et rayon de miel, opacités en verre dépoli et condensations alvéolaires, hyperclartés (lobules clairs et emphysème). Chaque lésion élémentaire oriente vers une gamme diagnostique plus ou moins limitée selon son caractère informatif. En effet, toutes les lésions élémentaires n'ont pas la même valeur diagnostique. Par exemple, la visualisation de kystes pulmonaires a une forte valeur et oriente vers une gamme diagnostique limitée : histiocytose langerhansienne, lymphangioléiomyomatose, pneumopathie interstitielle lymphocytaire, pneumopathie interstitielle desquamative, pneumopathie d'hypersensibilité subaiguë ou chronique, ou un diagnostic rare (amylose, syndrome de Birt-Hogg-Dubé, maladie des chaînes légères). À l'inverse, des lésions à type de verre dépoli ou de condensations alvéolaires chroniques sont peu discriminantes et les diagnostics possibles sont nombreux.

L'étape suivante est le choix de la lésion prédominante, sur laquelle sera basée la suite du raisonnement. Celle-ci est en général la lésion la plus étendue. Lorsque plusieurs lésions sont d'étendue comparable, le choix se porte sur la lésion que l'on considère comme la plus discriminante ou la plus sévère (masses de fibrose, rayon de miel). Les

caractéristiques de la lésion seront alors détaillées. Cela consiste à localiser les images à l'échelle du lobule secondaire (centro/intra/péri-lobulaires) et du poumon (central/périphérique, haut/moyen/bas, antérieur/postérieur, péri-bronchovasculaire/sous pleural), à donner des informations de densité (présence de zone de nécrose, de graisse, clarté centrale), des informations de forme (kystes arrondis/distordus) et de limites (nette/floue) et à évaluer le retentissement sur l'environnement bronchopulmonaire (compression, déplacement scissural, distorsion). La combinaison de l'identification de la lésion prédominante aux informations de localisation suffit parfois pour proposer un diagnostic avec une bonne fiabilité [9]. Par exemple, des images de type nodulaire ou micronodulaire de distribution périlymphatique à prédominance supérieure ou moyenne orientent vers une sarcoïdose. À l'inverse, des lésions de fibrose (réticulations intralobulaires ou rayon de miel) de prédominance inférieure et sous pleurale font évoquer le diagnostic de fibrose pulmonaire idiopathique.

Enfin, l'analyse se porte sur la recherche des lésions extrapulmonaires associées (adénomégales, plèvre, cœur). Celles-ci sont parfois peu discriminantes (adénomégales de répartition centrale dans le médiastin, épanchement pleural peu abondant). Dans d'autres cas, il s'agira de lésions suspectes pouvant guider des prélèvements (nodule surrénalien suspect de malignité, splénomégalie).

- Une fois les images obtenues, le radiologue doit lister les différentes lésions élémentaires, identifier une lésion prédominante, préciser les caractéristiques de cette lésion et rechercher les lésions associées médiastinales et extrathoraciques.
- Les lésions élémentaires sont les micronodules, les nodules, les masses, les lignes et réticulations (septales ou intralobulaires), les kystes et rayon de miel, les opacités en verre dépoli et condensations alvéolaires, et les hyperclartés.
- On choisit ensuite la lésion prédominante (la plus étendue, la plus discriminante ou la plus sévère en cas de lésions d'étendue comparable) sur laquelle sera basée la suite du raisonnement, et on évalue ses caractéristiques et ses répercussions sur le parenchyme environnant.
- Enfin, la présence de lésions extrapulmonaires associées est recherchée (ganglionnaires, pleurales, cardiaques).

Proposition d'une liste de diagnostics

La troisième étape de l'analyse, consiste à faire la synthèse des données tomodynamométriques et à proposer une liste de diagnostics possibles, hiérarchisés en fonction de leur probabilité.

Pour chaque diagnostic évoqué, on donnera le niveau de confiance : fortement évocateur d'un diagnostic du fait de la présentation tomodynamométrique typique, probable ou peu probable du fait d'atypies tomodynamométriques pour le diagnostic. La liste des pathologies dont l'aspect

Tableau 1 Pneumopathies interstitielles diffuses dont l'aspect tomodensitométrique est fortement évocateur du diagnostic (liste non exhaustive).

| | |
|--|--|
| Fibrose pulmonaire idiopathique | Rayon de miel et réticulations intralobulaires à prédominance périphérique et basale |
| Lymphangioleiomyomatose | Kystes pulmonaires, forme arrondie, distribution aléatoire |
| Histiocytose X | Kystes pulmonaires, nodules, forme irrégulière, prédominance supérieure |
| Pneumopathie d'hypersensibilité subaiguë | Verre dépoli, micronodules centrolobulaires diffus, aspect en mosaïque avec piégeage expiratoire |
| Sarcoïdose | Nodules, micronodules de distribution périlymphatiques, épaissement péri-bronchovasculaire |
| Protéïnose alvéolaire | <i>Crazy paving</i> |
| Lymphangite carcinomateuse | Épaississement péri-bronchovasculaire, lignes septales |
| Bronchiolite infectieuse | Micronodules centrolobulaires, aspect d'arbre en bourgeon [33] |

tomodensitométrique est fortement évocateur du diagnostic est limitée (Tableau 1), (Fig. 1). Dans ces situations, l'imagerie prend donc une place importante et permet dans certains cas d'éviter une procédure invasive ou de l'orienter afin d'en augmenter la rentabilité.

- On propose alors une liste de diagnostics possibles, en précisant leur degré de vraisemblance.

Intégration donnée clinico-biologiques et évolutives

La quatrième phase de l'analyse, consiste à intégrer les autres informations dans le raisonnement (Fig. 2). Il s'agit des données cliniques, biologiques et anatomopathologiques, mais aussi de l'évolutivité temporelle des images. Le caractère migrateur des condensations (disparition des lésions à certains endroits et apparition à d'autres endroits) doit faire discuter en priorité une infiltration éosinophilique, une pneumopathie organisée [10], une hémorragie alvéolaire (par exemple dans le cas d'une vascularité) ou un lymphome pulmonaire de bas grade.

Au terme de cette phase, l'examen tomodensitométrique modifie l'hypothèse diagnostique initialement formulée par le clinicien dans plus de la moitié des cas [11]. Il améliore la concordance inter-observateur et oriente la réalisation d'examen invasifs (lavage broncho-alvéolaire, biopsie transbronchique ou biopsies chirurgicale).

- Les données tomodensitométriques modifient l'hypothèse diagnostique initialement formulée par le clinicien dans plus de la moitié des cas.

De la signification du mot *pattern*...

Le terme de *pattern* est fréquemment utilisé dans la littérature anglophone. Si l'on reprend la littérature radiologique sur les PID des 20 dernières années, on s'aperçoit que la signification de ce mot évolue avec le temps et les connaissances médicales. Dès lors, l'utilisation de ce terme est source de confusion. Il fera référence, selon les articles, à la lésion prédominante ou aux associations de lésions élémentaires. Aucune traduction française n'est totalement satisfaisante et il est d'usage d'utiliser le mot *pattern* en pratique courante. Notre objectif est ici d'en proposer une traduction et de justifier l'utilisation des termes « motif » et « modèle ».

Si l'on reprend les articles d'imagerie sur les PID, on note que le raisonnement radiologique s'est initialement basé sur l'analyse de la lésion prédominante. C'est encore, nous l'avons vu au chapitre précédent, le mode de raisonnement principal pour la plupart des PID (en particulier celles à type de condensations alvéolaires, de verre dépoli, de kystes, de nodules ou de rayon de miel). En revanche, ce raisonnement s'adapte mal aux pathologies réticulaires. Ainsi, concernant les fibroses pulmonaires idiopathiques (FPI), on raisonnera sur la présence d'un « motif » évocateur, c'est-à-dire l'association de plusieurs lésions élémentaires, de leur localisation et de l'absence de signes négatifs remettant en cause le diagnostic. La présence des critères tomodensitométriques suivants définira un aspect typique et devant un tableau clinique évocateur, le diagnostic pourra être posé sans recourir à une biopsie pulmonaire chirurgicale [3]. Ces critères sont :

- présence de réticulations intralobulaires ;
- avec une distribution prédominante périphérique et basale ;
- prédominance de rayon de miel ;
- bronchectasies par traction ;
- absence de signes atypiques tels qu'un verre dépoli étendu.

Si le rayon de miel est non certain, les signes peuvent être interprétés comme compatibles avec une FPI. La biopsie pulmonaire chirurgicale devrait être réservée aux patients chez lesquels les signes cliniques et radiologiques de la maladie sont atypiques. Dans cette même logique, Silva et al. [12] ont défini des associations lésionnelles permettant de différencier pneumonie d'hypersensibilité chronique, pneumonie interstitielle non spécifique et FPI (Tableau 2), (Fig. 3).



Figure 1. Aspect de *crazy paving* (réticulations et opacités en verre dépoli superposé) à limites nettes en carte de géographie. Cet aspect est fortement évocateur du diagnostic de protéinose alvéolaire.

Aujourd’hui, le raisonnement par association lésionnelle s’étend aux autres PID. Koyama et al. en 2003, [13] sont (à notre connaissance) les premiers à utiliser une approche multivariée pour isoler des associations dans les maladies kystiques du poumon (Tableau 3) (Fig. 4). En 2010, Martin et al. [14], utilisent une technique de fouille de données (*data mining*) pour différencier les PID en verre dépoli. Il s’agit de définir pour chaque pathologie, une association de différents « motifs » dont la combinaison sert à définir un « modèle ». Le « modèle » inclut donc un ensemble de combinaisons de lésions élémentaires (présentes ou absentes) permettant de retenir le diagnostic (« motif » positif) ou au contraire de l’exclure (« motif » négatif). Ainsi, une caractérisation a été possible pour la sarcoïdose, la pneumopathie d’hypersensibilité (Tableau 4), (Fig. 5), la protéinose alvéolaire, les pneumopathies associées à des connectivites. Dans cette étude, l’association de sept signes cliniques simples (âge, sexe, tabagisme, exposition aviaire, signes extrathoraciques évocateurs de connectivite, prise médicamenteuse, exposition professionnelle) améliorait la performance diagnostique : sensibilité supérieure ou égale à 78% et spécificité supérieure ou égale 89% pour les pathologies pouvant être

Tableau 2 Association lésionnelle en faveur d’une pneumonie d’hypersensibilité (PHS) chronique, d’une pneumonie interstitielle non spécifique (PINS) ou d’une fibrose pulmonaire idiopathique (FPI).

| PHS | PINS | FPI |
|------------------------------------|----------------------------------|---|
| Lobules clairs | Respect des zones sous pleurales | Rayon de miel comme lésion prédominante |
| Nodules centrolobulaires | Absence de rayon de miel | Absence de respect sous pleural |
| Absence de prédominance inférieure | Absence de lobule clair | Absence de nodule |
| Selon référence [12]. | | |

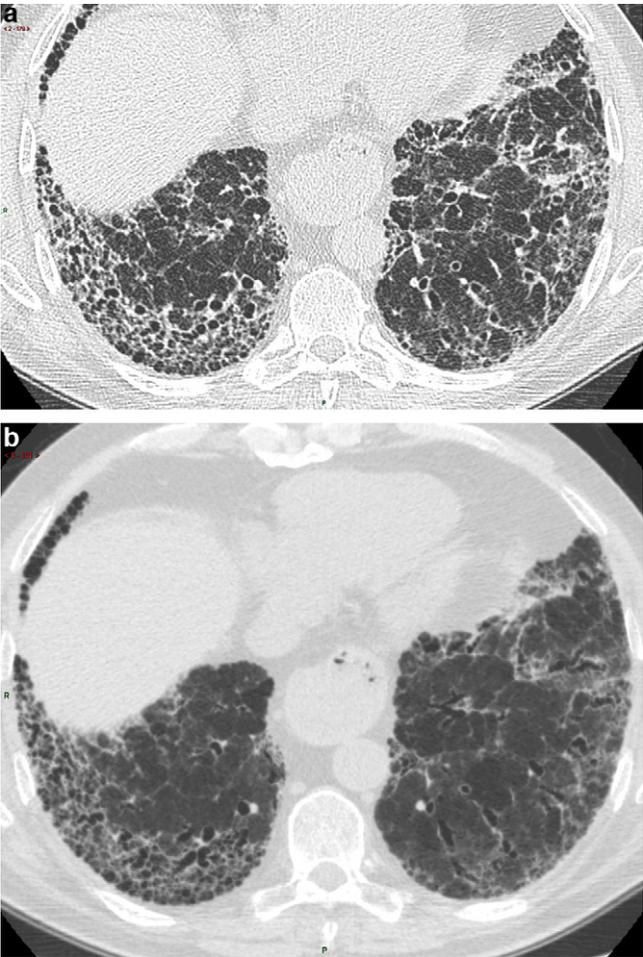


Figure 3. a : Associations lésionnelles de réticulations sous pleurales et rayon de miel de distribution prédominante périphérique et basale, permettant de poser le diagnostic de fibrose pulmonaire idiopathique en cas de tableau clinique évocateur. b : Même patient avec reconstructions en projections d’intensité minimale « minIP » permettant de mieux visualiser les bronchectasies par traction.

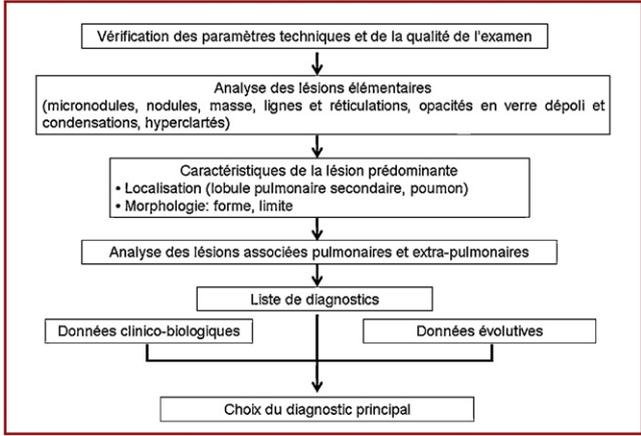


Figure 2. Bases du raisonnement en tomodynamométrie devant un tableau de PID chronique.

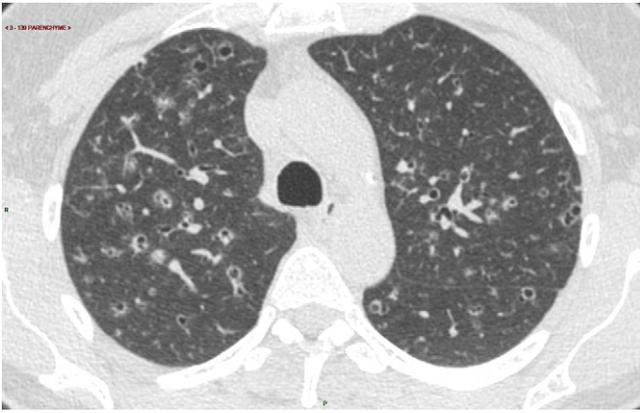


Figure 4. Associations lésionnelles de lésions kystiques de forme irrégulière et de nodules, prédominants dans les lobes supérieurs en faveur d'une histiocytose langerhansienne.

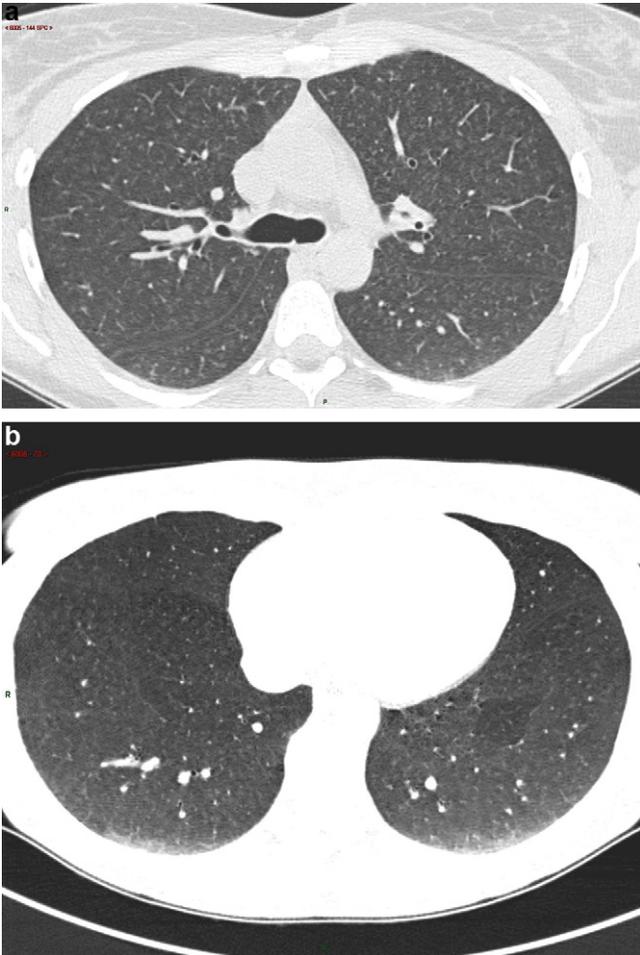


Figure 5. Exemple de « motif » tomographique de pneumopathie d'hypersensibilité associant le caractère centrolobulaires des opacités en verre dépoli et la présence de lobules clairs. a : Images axiales transverses natives ; b : Reconstructions en projections d'intensité minimale « minIP » permettant de mieux visualiser les lobules clairs.

Tableau 3 Association lésionnelle en cas de lésion prédominante de type kystique.

| | |
|---|---|
| Fibrose pulmonaire idiopathique | Présence de rayon de miel Bronchectasies par traction Prédominance inférieure |
| Pneumopathie interstitielle lymphocytaire | Épaississement péri-bronchovasculaire Épaississement des septas intralobulaires Kystes disséminés |
| Emphysème | Absence de paroi des espaces clairs Absence de verre dépoli |
| Pneumopathie interstitielle desquamative | Kystes sans parois Présence de verre dépoli péri-kystique |
| Histiocytose langerhansienne | Kystes de forme irrégulière Prédominance supérieure Présence de nodules |
| Lymphangioléiomyomatose | Kystes de distribution aléatoire Absence de verre dépoli |

Selon référence [13].

décrites par un « modèle ». Certaines pathologies ne pouvaient pas être décrites par un modèle ou posaient des problèmes de différenciation (béryllose, sarcoïdose, pneumonie interstitielle non spécifique et PID de connectivité). D'autres approches de type fouille de données sont également possibles, en particulier basées sur l'utilisation de réseaux neuronaux [15]. Cette dernière approche a plusieurs limites. En effet, elle peut être assimilée à une grosse boîte noire, dont le résultat dépend fortement de la base de donnée qui a servi à entraîner le système. Les résultats obtenus sont susceptibles de donner des résultats différents, en cas de modification de la base d'apprentissage.

Principes de la quantification lésionnelle

La quantification de l'extension des lésions d'aspect fibreux en imagerie est un des éléments de gradation de la sévérité de la maladie. C'est par exemple un élément pronostique important dans les FPI [16]. Elle permet également une meilleure classification des patients dans le cadre de protocoles d'étude. Elle est un élément objectif d'évaluation de la progression de la maladie et peut-être un élément déterminant de la décision thérapeutique. Ainsi, dans le cas particulier des atteintes interstitielles des sclérodermies, certains auteurs recommandent un traitement lorsque

Tableau 4 Exemple de « modèle » défini par analyse combinatoire pour définir une pneumonie d'hypersensibilité (PHS) chronique. Dans ce cas, le « modèle » est défini par l'association de cinq « motifs » tomodensitométriques.

| Description du « motif » | | | | | Patients avec PHS (n = 18) | Patients sans PHS (n = 144) |
|--------------------------|--|--------------|----------------------------|--|----------------------------|-----------------------------|
| | Caractère centrolobulaire des opacités en verre dépoli | Adénopathies | Présence de lobules clairs | Extension des opacités en verre dépoli | Prédominance inférieure | |
| Positif | 1 | 0 | | | | 6 |
| Positif | | | 1 | > 70 | | 12 |
| Négatif | 0 | | | | 1 | 3 |
| Négatif | 0 | | | < 70 | | 2 |
| Négatif | | | 0 | | | 6 |

Selon référence [14].

- L'interprétation radiologique se fondait initialement (et cela reste souvent le cas) sur l'analyse de la lésion prédominante mais on se base aussi parfois aujourd'hui sur la présence d'un « motif » évocateur (notamment pour les lésions réticulaires).
- On intègre ensuite différents « motif » pour définir un « modèle » qui inclut un ensemble de combinaisons de lésions élémentaires (présentes ou absentes) permettant de retenir le diagnostic (« motif » positif) ou de l'exclure (« motif » négatif).
- La biopsie pulmonaire chirurgicale doit être réservée aux cas où les signes cliniques et radiologiques de la maladie sont atypiques.

la maladie a une extension supérieure à 20% [17]. Le développement de méthodes d'évaluation automatisées est une piste de recherche actuelle, qui permettrait à terme de mieux diagnostiquer les maladies et de dépister les accidents évolutifs (exacerbation, progression, infection).

La quantification lésionnelle est le plus souvent réalisée selon des critères visuels. Il existe de très nombreuses échelles de quantification et une absence totale de standardisation. Cependant, l'expérience montre que les résultats obtenus sont relativement comparables s'il s'agit de classer les patients en peu ou très sévères. L'évaluation est réalisée soit sur deux (au-dessus/dessous de la carène) [12] ou trois volumes (haut/moyen/bas : carène, veines pulmonaires inférieures) [12,16,18,19], soit à cinq (crosse de l'aorte, carène, veines pulmonaires inférieures, dôme diaphragmatique, cul de sac pleural) [20,21] ou six niveaux [22–24]. La quantification est donnée soit sous forme de stade de sévérité (en général 1 : <25%, 2 : 25–50%, 3 : 50–75% et 4 : >75%) [12,19,22], soit en pourcentage (à 5 ou 10% près) [16,18,20–23]. D'autres échelles plus complexes ont été utilisées [25,26]. Notre préférence va à la méthode utilisée dès 1993 par Rémy-Jardin et al. [18], utilisant trois volumes et une évaluation en pourcentage. En fait, tout dépend de l'objectif de la quantification. Par exemple,

si l'on cherche à démontrer une progression lésionnelle, l'utilisation d'une échelle non linéaire (stade 0–4) n'est pas recommandée. En effet, le risque est de créer des biais en classant comme stable un patient progressant de 30 à 45%, soit : 15% de progression et de classer un patient comme progressant (stade 2), s'il passe de 49 à 55% (stade 2 à 3), soit 5%. De plus, la technique manque de sensibilité [17].

Du fait des problèmes de reproductibilité inter-observateur des mesures, des techniques de quantification automatisées ont été développées. La plus simple repose sur les analyses d'histogramme de densité des images. Les paramètres calculés sont l'atténuation moyenne, le coefficient de dissymétrie (*skewness*) et le coefficient d'aplatissement (*kurtosis*) [24,25,27]. Un logiciel a ainsi été utilisé par Marten et al. [28], pour une quantification automatique des zones de fibrose, par des techniques de seuillage (–800 unités Hounsfield). Par différentes opérations mathématiques (filtrage, extraction vasculaire et bronchique), le volume des zones pathologiques a été calculé chez des patients ayant une connectivité. Il permettait en particulier, de dépister les patients avec une atteinte débutante. Du fait de la dépendance des résultats obtenus au degré d'inspiration du patient, à l'augmentation physiologique de densité du parenchyme liée à la gravitation, au poids du patient et des très importantes variations de résultats d'un constructeur à l'autre (luminosité...), certains auteurs ont développé des techniques de quantification plus sophistiquées [29–31]. Ces outils ont également été développés pour différencier les différents types d'emphysème et de maladies obstructives chroniques [32]. Il s'agit de techniques d'apprentissage supervisé, nécessitant une base de données pour créer des combinaisons pertinentes, caractéristiques d'une pathologie. On extrait ainsi différentes informations de la texture de l'image (matrice de co-occurrence, indice fractal, longueur de plage...) et des caractéristiques des objets (géométrie, topologie) pour caractériser les zones de fibrose (réticulations, rayon de miel) et celles de verre dépoli. L'analyse est alors réalisée sur des petits éléments du parenchyme, carrés de quelques pixels ou par d'autres techniques de décomposition du poumon. Le classifieur (par analyse bayésienne, par machines

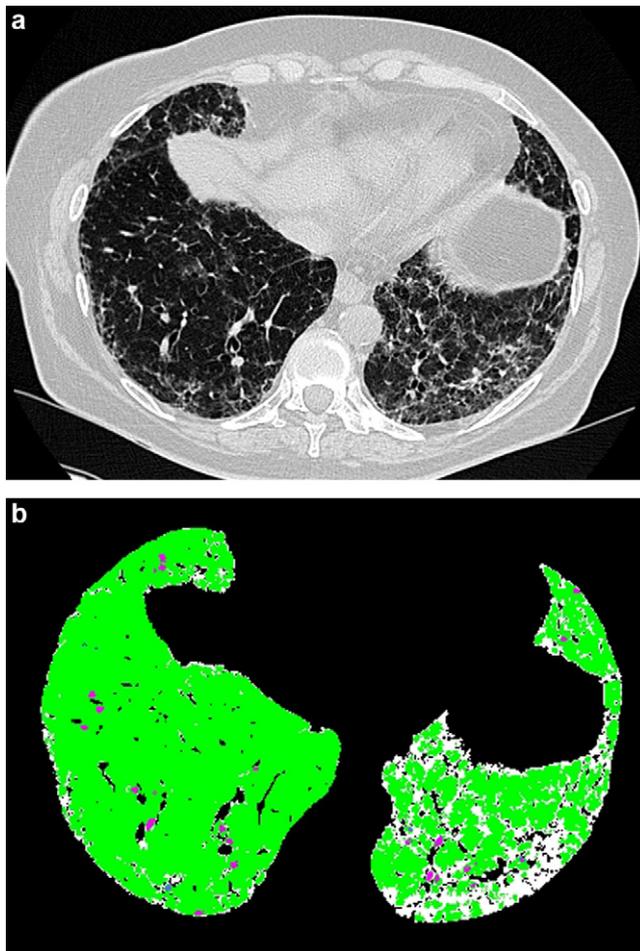


Figure 6. Quantification automatisée de l'extension des zones de fibrose par analyse de texture. a : Images axiales transverses natives ; b : Résultats des segmentations permettant d'identifier en blanc les zones de réticulations.

à vecteurs de support...) a pour objectif de classer dans les groupes (normal ou pathologique, type de pathologie : pneumopathie interstitielle non spécifique/fibrose pulmonaire idiopathique). Ces techniques sont cependant encore difficiles et complexes à utiliser en technologie volumique (Fig. 6).

Conclusion

En conclusion, cet article a permis de détailler les bases du raisonnement radiologique. Nous avons montré l'évolution du raisonnement au cours du temps et insisté sur la sémantique à utiliser. Ainsi, nous avons proposé une traduction du mot *pattern* désignant soit la lésion prédominante soit un « motif » donné. Le raisonnement radiologique peut aujourd'hui être modélisé. Ces techniques couplées à des techniques automatisées d'analyse d'image font pressentir le développement d'outils d'aide à la décision. Ces outils se heurtent, outre les difficultés techniques dont nous avons parlées, aux difficultés de différencier des PID d'aspect très proche et protéiforme. Par exemple, il est aujourd'hui

- Quantifier l'extension des lésions d'aspect fibreux en imagerie permet de grader la sévérité de la maladie d'évaluer la progression de la maladie et cette quantification peut être un élément déterminant de la décision thérapeutique.
- La quantification lésionnelle est le plus souvent réalisée selon des critères visuels et utilise une des nombreuses échelles de quantification existantes.
- Pour éviter des problèmes de reproductibilité inter-observateur entre les mesures, des techniques de quantification automatisées ont été développées et sont en cours de développement.

difficile de différencier des images d'emphysème de celles en rayon de miel, lorsque ces deux lésions sont présentes ou de différencier PHS, PINS et FPI, qui peuvent avoir des présentations similaires [1]. Enfin, l'adaptation des outils aux techniques de tomодensitométrie volumique posera également des problèmes de recalage et fusion d'images, lorsqu'il s'agira de prendre en compte plusieurs examens successifs. Cette évolution semble cependant possible, mais dans un délai impossible à définir...

POINTS ESSENTIELS

- l'approche diagnostique des PID chroniques en tomодensitométrie comporte quatre étapes : vérification des paramètres techniques et de la qualité de l'examen, description des lésions élémentaires et des lésions associées, proposition d'une liste de diagnostics, intégration des données cliniques et biologiques, et des données évolutives ;
- l'évaluation en imagerie est passée de l'évaluation de la lésion prédominante à la notion de « motifs » lésionnels permettant de définir un « modèle » qui inclut un ensemble de combinaisons de lésions élémentaires.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Références

- [1] Walsh SL, Hansell DM. Diffuse interstitial lung disease: overlaps and uncertainties. *Eur Radiol* 2010;20:1859–67.
- [2] Bradley B, Branley HM, Egan JJ, et al. Interstitial lung disease guideline: the British thoracic society in collaboration with the thoracic society of Australia and New Zealand and the Irish thoracic society. *Thorax* 2008;63:1–58.
- [3] Schmidt SL, Sundaram B, Flaherty KR. Diagnosing fibrotic lung disease: when is high-resolution computed tomography sufficient to make a diagnosis of idiopathic pulmonary fibrosis? *Respirology* 2009;14:934–9.

- [4] Hansell DM. Thin-section CT of the lungs: the Hinterland of normal. *Radiology* 2010;256:695–711.
- [5] Gotway MB, Reddy GP, Webb WR, et al. High-resolution CT of the lung: patterns of disease and differential diagnoses. *Radiol Clin North Am* 2005;43:513–42.
- [6] Webb WR. Thin-section CT of the secondary pulmonary lobule: anatomy and the image—the 2004 Fleischner lecture. *Radiology* 2006;239:322–38.
- [7] Beigelman-Aubry C, Hill C, Guibal A, et al. Multi-detector row CT and post processing techniques in the assessment of diffuse lung disease. *Radiographics* 2005;25:1639–52.
- [8] Remy-Jardin M, Campistrone P, Amara A, et al. Usefulness of coronal reformations in the diagnostic evaluation of infiltrative lung disease. *J Comput Assist Tomogr* 2003;27:266–73.
- [9] Sundaram B, Gross BH, Martinez FJ, et al. Accuracy of high-resolution CT in the diagnosis of diffuse lung disease: effect of predominance and distribution of findings. *AJR Am J Roentgenol* 2008;191:1032–9.
- [10] Lazor R. Pneumopathie organisée cryptogénique. *Rev Pneumol Clin* 2005;61:193–202.
- [11] Aziz ZA, Wells AU, Bateman ED, et al. Interstitial lung disease: effects of thin-section CT on clinical decision making. *Radiology* 2006;238:725–33.
- [12] Silva CI, Muller NL, Hansell DM, et al. Nonspecific interstitial pneumonia and idiopathic pulmonary fibrosis: changes in pattern and distribution of disease over time. *Radiology* 2008;247:251–9.
- [13] Koyama M, Johkoh T, Honda O, et al. Chronic cystic lung disease: diagnostic accuracy of high-resolution CT in 92 patients. *Am J Roentgenol* 2003;180:827–35.
- [14] Martin SG, Kronek LP, Valeyre D, et al. High-resolution computed tomography to differentiate chronic diffuse interstitial lung diseases with predominant ground-glass pattern using logical analysis of data. *Eur Radiol* 2010;20:1297–310.
- [15] Fukushima A, Ashizawa K, Yamaguchi T, et al. Application of an artificial neural network to high-resolution CT: usefulness in differential diagnosis of diffuse lung disease. *Am J Roentgenol* 2004;183:297–305.
- [16] Best AC, Meng J, Lynch AM, et al. Idiopathic pulmonary fibrosis: physiologic tests, quantitative CT indexes, and CT visual scores as predictors of mortality. *Radiology* 2008;246:935–40.
- [17] Wells AU. High-resolution computed tomography and scleroderma lung disease. *Rheumatology (Oxford)* 2008;47:59–61.
- [18] Remy-Jardin M, Remy J, Wallaert B, et al. Pulmonary involvement in progressive systemic sclerosis: sequential evaluation with CT, pulmonary function tests, and bronchoalveolar lavage. *Radiology* 1993;188:499–506.
- [19] Tanaka N, Kim JS, Newell JD, et al. Rheumatoid arthritis-related lung diseases: CT findings. *Radiology* 2004;232:81–91.
- [20] Copley SJ, Wells AU, Sivakumaran P, et al. Asbestosis and idiopathic pulmonary fibrosis: comparison of thin-section CT features. *Radiology* 2003;229:731–6.
- [21] Desai SR, Veeraraghavan S, Hansell DM, et al. CT features of lung disease in patients with systemic sclerosis: comparison with idiopathic pulmonary fibrosis and nonspecific interstitial pneumonia. *Radiology* 2004;232:560–7.
- [22] Akira M, Inoue Y, Kitaichi M, et al. Usual interstitial pneumonia and nonspecific interstitial pneumonia with and without concurrent emphysema: thin-section CT findings. *Radiology* 2009;251:271–9.
- [23] Biederer J, Schnabel A, Muhle C, et al. Correlation between HRCT findings, pulmonary function tests and bronchoalveolar lavage cytology in interstitial lung disease associated with rheumatoid arthritis. *Eur Radiol* 2004;14:272–80.
- [24] Sumikawa H, Johkoh T, Yamamoto S, et al. Computed tomography values calculation and volume histogram analysis for various computed tomographic patterns of diffuse lung diseases. *J Comput Assist Tomogr* 2009;33:731–8.
- [25] Camiciottoli G, Orlandi I, Bartolucci M, et al. densitometry in systemic sclerosis: correlation with lung function, exercise testing, and quality of life. *Chest* 2007;131:672–81.
- [26] Warrick JH, Bhalla M, Schabel SI, et al. High-resolution computed tomography in early scleroderma lung disease. *J Rheumatol* 1991;18:1520–8.
- [27] Best AC, Lynch AM, Bozic CM, et al. Quantitative CT indexes in idiopathic pulmonary fibrosis: relationship with physiologic impairment. *Radiology* 2003;228:407–14.
- [28] Marten K, Dicken V, Kneitz C, et al. Interstitial lung disease associated with collagen vascular disorders: disease quantification using a computer-aided diagnosis tool. *Eur Radiol* 2009;19:324–32.
- [29] Boehm HF, Fink C, Attenberger U, et al. Automated classification of normal and pathologic pulmonary tissue by topological texture features extracted from multi-detector CT in 3D. *Eur Radiol* 2008;18:2745–55.
- [30] Fetita C, Chang-Chien KC, Brillet PY, et al. Diffuse parenchymal lung diseases: 3D automated detection in MDCT. *Med Image Comput Assist Interv Int Conf Med Image Comput Assist Interv* 2007;10:825–33.
- [31] Uppaluri R, Hoffman EA, Sonka M, et al. Interstitial lung disease: a quantitative study using the adaptive multiple feature method. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:519–25.
- [32] Chabat F, Yang GZ, Hansell DM. Obstructive lung diseases: texture classification for differentiation at CT. *Radiology* 2003;228:871–7.
- [33] Devakonda A, Raouf S, Sung A, et al. Bronchiolar disorders: a clinical-radiological diagnostic algorithm. *Chest* 2010;137:938–51.