

Mise au point

Échographie pleuro-pulmonaire

Lung ultrasound

D.A. Lichtenstein *

Service de réanimation médicale, hôpital Ambroise-Paré, 9, avenue Charles-de-Gaulle, 92100 Boulogne, France

Résumé

Introduction – L’investigation du poumon, un organe vital, pose problème : la radiographie au lit occulte de nombreuses informations, tandis que le scanner a un accès limité. Cette mise au point survole les possibilités d’une méthode permettant d’avoir une idée précise du status respiratoire, au lit, chez un patient critique : l’échographie pulmonaire.

Actualités et points forts – À l’aide d’une sémiologie codifiée, l’échographie nous offre la possibilité de diagnostiquer l’épanchement pleural, le pneumothorax, la consolidation alvéolaire et le syndrome interstitiel avec des performances proches du scanner. En outre, la ponction pleurale chez un patient ventilé s’avère une procédure sûre. Entre autres éléments, la détection du glissement pleural et du syndrome interstitiel permet une application basique, l’approche diagnostique temps-réel d’une dyspnée aiguë.

Perspectives et projets – La retombée essentielle est la possibilité de diminuer progressivement l’approche radiologique du patient, tout en pouvant lui épargner la lourdeur du scanner dans la majorité des situations d’urgence. La possibilité de monitorer des procédures thérapeutiques essentielles (niveau de pression expiratoire positive d’un syndrome de détresse respiratoire de l’adulte) ou de faire des diagnostics bactériologiques fiables, sont encore à l’état d’investigation.

Le projet le plus urgent semble donc, au total, l’organisation d’une formation des équipes à cette méthode.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Introduction – Investigation of the lung, a vital organ, still raises problems, since bedside radiography occults much information whereas CT has limited access. This review outlines the possibilities of a method that provides the most accurate idea of respiratory status at the bedside in the critically ill: lung ultrasound.

Relevance and advantages – Using a codified semiology, ultrasound offers us the possibility of diagnosing pleural effusion, pneumothorax, alveolar consolidation and interstitial syndrome with a performance close to that of CT. Among several applications, thoracentesis in a ventilated patient proves to be a safe procedure and analysis of lung sliding and comet-tail artifacts allows a basic application: real-time diagnosis of an acute dyspnea.

Outlook – The essential advantage of lung ultrasound is the possibility of gradually replacing radiographic approach to the patient, while circumventing, in most emergencies, the drawbacks of CT. The possibility of monitoring basic therapeutic procedures (positive end expiratory pressure level in adult respiratory distress syndrome) and reliable bacteriologic testing are still under investigation. In summary, the most urgent requirement is to organize the training of intensivists in this new method.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. All rights reserved.

Mots clés : Réanimation ; Échographie pulmonaire ; Échographie diagnostic ; Insuffisance respiratoire aiguë ; Pneumothorax

Keywords: Intensive Care Unit; Chest ultrasonography; Ultrasound diagnosis; Lung ultrasound diagnosis; Respiratory failure; Pneumothorax

* Auteur correspondant.

1. Introduction

L'investigation du poumon a connu des accélérations notables avec le développement d'une sémiologie stéthacoustique [1], radiologique [2], puis scanographique [3]. Toutefois, la radiographie, un outil bien ancré et plus que centenaire, présente des lacunes gênantes dans l'urgence vitale [4–11]. De fait, la médecine d'urgence moderne se satisfait difficilement de cet outil basique. Le scanner vient combler ces lacunes depuis 1972. Ce progrès majeur de l'imagerie, certes plus informatif, s'accompagne toutefois d'inconvénients lourds qui limitent son utilisation en routine (transport, délai nécessaire et irradiation notamment). Pour contrer ce paradoxe qui veut que le patient le plus critique ait le moins accès aux techniques de pointe, le réanimateur aimerait bénéficier d'une méthode permettant de résoudre le problème principal de l'urgence : aller vite et bien. Une telle méthode existe-t-elle au niveau pulmonaire ?

L'échographie est une méthode à la fois ancienne et récente, puisque ses premières applications médicales remontent à 1946 [12], alors que paradoxalement, ce n'est que récemment que ses potentialités dans l'urgence ont été reconnues, propulsant cette méthode attachante sur le devant de la scène en réanimation. L'échographie a en effet depuis l'avènement du temps réel (1974) l'avantage sans appel d'une disponibilité immédiate au lit du patient. Le cœur est le premier exemple d'une utilisation par le clinicien lui-même [13]. L'échographie générale d'urgence commence doucement à être intégrée. En revanche, le poumon, un organe vital s'il en est et aussi le plus volumineux de l'organisme, semblait jusqu'ici oublié des manuels d'échographie.

Pourquoi le développement si tardif d'une sémiologie échographique pulmonaire ? Une explication physique est que l'air est habituellement considéré comme un obstacle aux ultrasons [14]. Une explication plus logistique tiendrait au fait que le radiologue, qui gère habituellement l'échographie, dispose d'imageries alternes (radiographies ambulatoires, scanner) et n'a pas été confronté au besoin d'aller plus loin. En pratique, l'échographie pulmonaire a dû prouver son existence en dépit d'un dogme qui affirmait le contraire. Tous ces éléments ont créé un retard qui à présent se comble.

Une fois le principe de l'existence de l'échographie pulmonaire admis, une formation des équipes sur une vaste échelle est dès lors souhaitable. La nécessité d'un encadrement rigoureux reste le meilleur garant d'une utilisation large de la méthode. L'absence actuelle de centres de formation disponibles explique sans doute en partie une diffusion encore sous-optimale de la méthode.

2. Considérations préliminaires et modalités de base

L'échographie pulmonaire existe paradoxalement, pourvu que certains dogmes soient révisés. Alliant une culture réanimatoire et échographique, il nous était loisible de travailler une sémiologie caractéristique du poumon aigu.

L'idée d'une échographie pulmonaire repose en fait sur 7 principes simples [15] :

- le thorax est une région où air et eau peuvent être en contact étroit. De cette cohabitation naissent les artefacts. Par ailleurs, l'air et l'eau ayant des dynamiques gravitationnelles inverses (l'air monte–l'eau descend), il convient de définir des désordres déclives, riches en eau, tels qu'épanchement pleural et la plupart des consolidations alvéolaires et des désordres culminants, riches en air, tels que pneumothorax et syndrome interstitiel. On se référera donc toujours à un « axe ciel–terre » pour interpréter valablement tout examen échographique des poumons ;
- la sémiologie pleuropulmonaire part de la ligne pleurale ;
- cette sémiologie est basée sur l'analyse des artefacts, structures habituellement jugées indésirables. Il faut savoir faire un pas vers ces artefacts ;
- la sémiologie pleuropulmonaire est dynamique. Une analyse rétrospective de clichés statiques (le système officiel outre-Atlantique) est ainsi difficilement concevable ;
- pratiquement tout désordre aigu s'étend en surface, ce qui explique le caractère paradoxal en apparence seulement de l'échographie pulmonaire, ainsi que sa grande faisabilité (entre 97 et 100 % dans nos observations) ;
- comme la surface pulmonaire est vaste (environ 1500 cm²), il faut définir des territoires. La sonde sera posée aux mêmes endroits que le stéthoscope ;
- un appareil « rustique » est parfaitement adéquat ici.

Quelques mots sur le matériel requis. Il est simple quoique précisément défini. Un appareil compact de 13 kg pour 36 dm³, équipé d'une sonde courte de 5 MHz, muni de la seule fonction bidimensionnelle, sans Doppler, fait l'affaire. Ce type d'appareil complète bien les unités d'échocardiographie Doppler, car il est plus maniable pour de multiples applications d'urgence, moins onéreux, avec une qualité d'image souvent meilleure. L'idéal est un service disposant des deux logistiques, mais il faut savoir que notre appareil polyvalent réserve un potentiel insoupçonné de services (dont la possibilité de fournir des renseignements basiques sur le cœur). Notons un dernier avantage de l'échographe simple : l'innocuité, un point non acquis avec le Doppler [16,17]. Des mesures simples mais précises éviteront les infections. L'asepsie est au mieux contrôlée avec une façade sans boutons saillants ni aspérités.

3. Le poumon normal

Dans ce domaine assez récent, un rappel du normal est souhaitable avant toute incursion dans le pathologique.

Seule une approche rigoureuse, ce qui ne veut pas dire inaccessible, est garante de résultats reproductibles. Le patient est généralement abordé en décubitus dorsal. Des territoires précis seront définis, les lignes axillaires séparant les

parois antérieure, latérale et postérieure, chacune de ces régions pouvant être divisée en quadrants. Le lieu de l'investigation dépend de la question clinique. Quatre niveaux d'investigation peuvent être définis :

- niveau 1 : l'analyse se limite à la paroi antérieure, informant immédiatement sur l'existence d'un pneumothorax, d'un syndrome interstitiel ;
- niveau 2 : l'analyse inclut la paroi latérale jusqu'à « fleur de lit », renseignant d'emblée sur la majorité des épanchements pleuraux et consolidations alvéolaires de volume conséquent ;
- niveau 3 : l'analyse progresse vers les zones postérieures par une manœuvre décollant le dos (manœuvre de latéralisation), révélant les petits épanchements et consolidations non détectés par l'analyse précédente ;
- niveau 4 : l'analyse est exhaustive, patient en décubitus latéral, avec large abord postérieur et étude des apex. La masse des informations disponibles permet alors une comparaison directe avec le scanner.

Comme l'air monte et l'eau descend, la position du patient devra être précisée : ce qui est déclive dans une position ne l'est plus dans une autre.

La sonde explorera directement le poumon, sans passer par la voie abdominale sous-costale traditionnelle, une voie douteuse voire source d'erreurs. La pratique de coupes exclusivement longitudinales est souhaitable. Le temps initial, crucial pour éviter nombre de confusions, est le repérage du thorax : on situera déjà le diaphragme. Ce qui est au-dessous est abdominal, ce qui est au-dessus thoracique. Une fois la sonde posée sur le thorax, on peut certes constater que l'image est exclusivement constituée d'artefacts (Fig. 1).

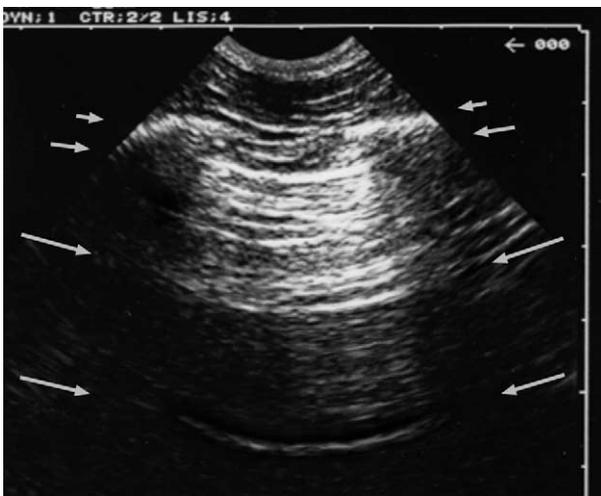


Fig. 1. (Poumon normal, lignes A). Coupe longitudinale d'un espace intercostal. A priori, tout n'est qu'artefact, puisque entre les artefacts osseux se profilent des artefacts aériques. Toutefois, le dôme des côtes (flèches courtes) et la ligne pleurale (flèche intermédiaires) dessinent un profil caractéristique, évoquant une chauve-souris vue de face et dont le dos est matérialisé par la ligne pleurale. Noter des lignes horizontales de répétition de la ligne pleurale (flèches longues) ou lignes « A », un élément qui fait partie intégrante de la sémiologie pulmonaire.

Toutefois, dès le sommet des côtes et leur ombre acoustique identifiés, on peut distinguer, peu en profondeur, une ligne hyperéchogène grossièrement horizontale, matérialisant l'interface pariétopulmonaire ou ligne pleurale. L'ensemble « côte–ligne pleurale–côte » a l'appréciable avantage de fournir un profil caractéristique (signe de la « chauve-souris »), qui donne un repère permanent. De la ligne pleurale émanent des signes statiques et dynamiques.

3.1. Signes statiques normaux

Les artefacts naissant de la ligne pleurale sont de deux types opposés : grossièrement horizontaux ou grossièrement verticaux (sur l'écran). Il existe en fait plusieurs types d'artefacts cliniquement pertinents et une classification par ordre alphabétique était pratique pour éviter de longues descriptions. Ainsi, le signe basique de normalité est constitué de lignes horizontales de répétition de l'interface pariétopulmonaire, aspect appelé par commodité « lignes A » (Fig. 1). Le second artefact fondamental est l'artefact en queue de comète, qui dans une variété où il est bien défini, naît de la ligne pleurale, suit le glissement pleural et se prolonge sans épuisement. Un tel artefact a été appelé « ligne B ». Comme plusieurs « lignes B » visibles simultanément rappellent une fusée au décollage, ce profil a reçu le terme pratique de « fusées pleurales » (Fig. 2). Parmi les nombreux autres artefacts, citons ceux qu'il ne faudra jamais confondre avec les « lignes B » : les « lignes E » (« E » comme emphysème pariétal), longues mais non issues de la ligne pleurale et les « lignes Z » (« Z » comme la dernière lettre de l'alphabet), qui s'épuisent, sans signification encore [18A].



Fig. 2. (Fusées pleurales). Ces artefacts aériques en queue de comète ont la particularité d'être bien définis tels des rayons laser (on en dénombre quatre ou cinq), à disposition verticale, de naître strictement de la ligne pleurale et de s'étendre jusqu'à la limite inférieure de l'écran sans épuisement. Cet ensemble définit les « lignes B ». Plusieurs « lignes B » simultanément visibles définissent des « fusées pleurales ». Des « fusées », qui peuvent se voir chez le sujet normal si confinées aux bases, signalent le syndrome interstitiel aigu quand elles sont diffuses. Patient présentant un œdème aigu pulmonaire.

3.2. Signe dynamique normal : le glissement pleural

Signe majeur de normalité, c'est un scintillement visible au niveau de la ligne pleurale, correspondant à la cinétique crâniocaudale respiratoire du poumon. Il peut être objectivé en mode temps–mouvement, lequel donne le signe du « bord de mer » (Fig. 3).

On pourrait s'étendre sur la sémiologie du glissement pleural. Précisons d'entrée que les sondes de 2,5 MHz équipant généralement les appareils d'échocardiographie Doppler ont une résolution insuffisante. Sur les appareils adaptés, il faut retirer le filtre de sommation dynamique (lissage) qui, à l'instar d'un maquillage, donne une image flatteuse mais qui peut masquer un glissement discret. Ces détails réglés, le glissement pleural est un mouvement relatif, tranchant avec l'immobilité des structures sus-jacentes. Le glissement est maximal aux bases, faible aux sommets. Il faut accorder de l'importance à un glissement infime, qui suit une loi du « tout ou rien ». Un patient sous ventilation mécanique, âgé, pléthorique aura un glissement pleural au même titre qu'un jeune patient sain respirant spontanément. Le glissement pleural n'est pas aboli chez le sujet emphysémateux. Une bulle géante d'emphysème n'abolit pas non plus le glissement pleural. Cette notion s'avèrera utile quand on voudra distinguer une bulle géante d'un pneumothorax. Une symphyse pleurale aiguë, une « jet ventilation », des séquelles pleurales et toute altération de l'ampliation pulmonaire (atélectasie, fibrose voire simple apnée) abolissent le glissement. Chez un patient dyspnéique, un tirage générera un glissement musculaire gênant l'analyse du glissement pleural. L'asthme aigu grave donne un glissement extrêmement faible, qu'il importe de différencier d'un glissement aboli.

Le sujet normal présente un glissement pleural associé à des « lignes A » majoritaires, des « lignes B » absentes ou alors confinées au dernier espace intercostal dans 1/4 des cas [19], ou encore, rares, sur la paroi antérieure.

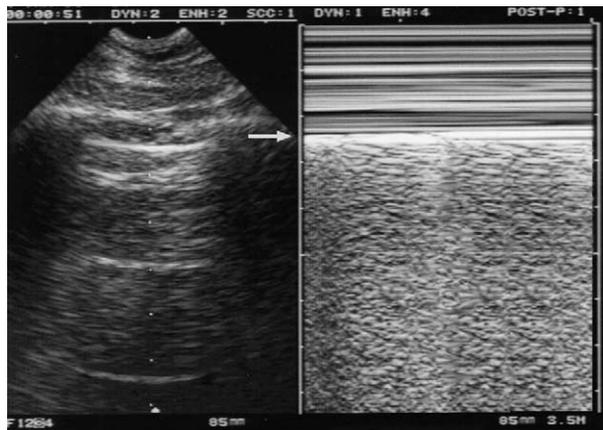


Fig. 3. (Poumon normal, glissement pleural). Sur la figure de droite, acquise en temps–mouvement, une différence flagrante de profil apparaît de part et d'autre de la ligne pleurale (flèche), les structures superficielles, inertes, générant des lignes horizontales (vagues) tandis que les artefacts profonds, animés d'une dynamique, génèrent cet aspect sablé (signe du « bord de mer »).

4. Épanchement pleural liquidien

Envisagée dès 1946 [12], documentée depuis 1967 [20], cette application familière ne semble pas encore partout pleinement exploitée. En fait, les études établissant une corrélation avec le scanner sont rares, ce qui est peut-être un marqueur de la place actuelle de l'échographie thoracique et la sémiologie courante peut être optimisée.

4.1. Sémiologie

Classiquement, un abord abdominal sous-costal identifiait une collection trans-sonore derrière le diaphragme. Nous préférons analyser directement l'épanchement par l'intermédiaire de la ligne pleurale, passant par les espaces intercostaux avec notre sonde courte. On peut ainsi décrire l'épanchement comme une image déclive séparant plèvre pariétale (ligne pleurale) et plèvre viscérale (le poumon), d'échostructure variable (Fig. 4), aux limites régulières et doté d'un signe dynamique spécifique : la variation respiratoire de la distance interpleurale ou signe de la « sinusôïde » (Fig. 5), qui traduit le rapprochement inspiratoire du poumon vers la paroi [21]. Nous posons initialement la sonde latéralement à fleur de lit chez un patient en décubitus dorsal. Si aucun épanchement n'est visible, c'est qu'il est soit absent soit minime et on le cherchera si besoin plus en arrière, utilisant la « manœuvre de latéralisation ». Aéré, le poumon flottera au-dessus de l'épanchement. Consolidé, il nagera entre deux eaux (« signe de la méduse »).

Le scanner thoracique étant pris comme examen de référence, la sensibilité de l'échographie est de 86 %, mais monte à 97 % si l'on considère comme négligeable un épanchement de flèche maximale < 10 mm (quoique paradoxalement, l'échographie puisse détecter un épanchement millimétrique, pourvu que la sonde étudie une zone adéquate) [22]. Le signe de la sinusôïde doit être exigé pour parler d'épanchement pleural puisqu'il permet de l'affirmer avec une spécificité de 97 % [21].



Fig. 4. (Pleurésie). Épanchement pleural sus-phrénique, avec consolidation du lobe inférieur (LL). La coupole est clairement identifiée (flèche). Noter de discrètes septations, signant la nature inflammatoire de cet épanchement.

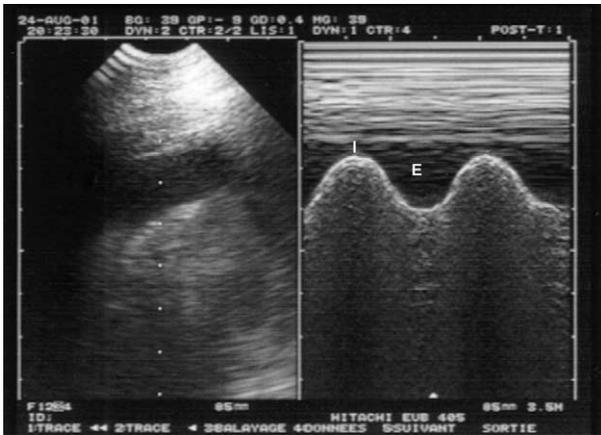


Fig. 5. (Pleurésie, sinusoïde). L'aspect de la figure 4 n'est pas suffisant pour affirmer l'épanchement et plus encore sa liberté. L'excursion centrifuge inspiratoire de la surface pulmonaire est clairement mise en évidence par le mode TM : signe de la « sinusoïde », un signe spécifique d'épanchement pleural et un signe attestant par ailleurs d'une bonne fluidité. I, inspiration, E, expiration.

4.2. Applications

L'intérêt d'analyser un épanchement pleural est évident. Mattisson trouve une prévalence de 62 % en réanimation médicale, dont 41 % dès l'admission [23]. La radiographie au lit est peu gratifiante. Elle ne révèle que rarement les petits épanchements, peut occulter jusqu'à 525 ml de liquide [24,25]. Elle occulte 1/3 des cas d'épanchement conséquent puisque ponctionnable, chez les patients ventilés [21]. Elle peut faire croire à tort à un épanchement alors qu'il n'y a que consolidation ou même image construite (sein,...). Enfin, le renseignement fourni est fruste, tandis que l'échographie identifiera l'épanchement, son abondance, sa nature et le lieu où la ponction devra porter. L'échographie est reconnue comme technique de choix pour dépister un épanchement chez un patient couché [26,27].

L'échographie permet d'apprécier l'abondance d'un épanchement à la condition d'un bon jugé. Nous n'avons pas encore trouvé le repère simple chiffrant l'abondance avec exactitude, preuve sans doute que ce problème n'en est pas un et préférons utiliser une fourchette d'appréciation, situant tel épanchement entre 500 et 1000 ml, tel autre entre 15 et 30 ml.

Un apport majeur de l'échographie est de permettre de reconnaître la nature d'un épanchement. Les grandes causes des épanchements pleuraux en réanimation sont l'insuffisance cardiaque (35 %), l'atélectasie (23 %), la pneumopathie (11 %) et l'empyème dans 1 % des cas [23]. L'échostructure donne une idée grossière de la nature [28] : un transsudat est trans-sonore, un exsudat échogène. Des septations (éléments rarement visibles au scanner) indiquent une origine inflammatoire. Toutefois, il nous paraît plus prudent, si l'on veut vraiment connaître la nature du liquide, de procéder d'emblée à la ponction pleurale, qui raccourcira les discussions. Elle est certes plus rentable si le liquide est échogène :

septations, particules mouvantes (signe du « plancton ») indiquant pleurésie purulente ou hémithorax...

Écho-guidée ou bien plus souvent écho-éclairée, la ponction devient un geste routinier. Des règles précises doivent être respectées afin de ponctionner en sécurité un épanchement éventuellement radio-oculte, chez un patient éventuellement sous ventilation mécanique [21]. Brièvement, une distance inter-pleurale inspiratoire d'au moins 15 mm sur 3 espaces est requise. Le patient peut rester en décubitus dorsal si ce critère est présent en latéral. On aura repéré ces organes tels que cœur, rate, foie et poumon, lequel peut s'interposer seulement à l'inspiration. Le signe de la « sinusoïde », outre qu'il prouve la nature liquidienne, a l'avantage d'indiquer une fluidité élevée, compatible avec l'utilisation de matériaux fins (21 G), soit un traumatisme minimal. La ponction doit suivre immédiatement le repérage, le patient restant rigoureusement dans la même position. Un repérage effectué en service de radiologie et suivi du retour du patient en réanimation puis de la ponction nous paraît hautement risqué. Une dérive liée à un éventuel pli cutané sera maîtrisée. Sous couvert de ces précautions, sur 45 procédures chez des patients ventilés et sous PEEP, le taux de succès a été de 97,5 % et le taux de complications nul [21].

Une technique proche permet la soustraction de quantités substantielles de liquide. Ceci intéressera les équipes estimant que ce geste améliore les conditions ventilatoires du patient [29,30].

4.3. Limites de l'échographie

Outre les limites générales (voir infra), dans de rares cas, l'épanchement a une échostructure proche de la consolidation sous-jacente et la part de chaque pathologie sera mal appréciée. Au maximum, on est face à ce qu'on pourrait appeler le « poumon noir échographique ». La radiographie est habituellement blanche. Les signes discriminants (sinusoïde, plancton, bronchogramme dynamique) manquent et on ne pourra trancher, même si statistiquement, un tel aspect a plus de chances d'être liquidien. Ici, le scanner sera plus informatif.

L'épanchement pleural enkysté ne donnera pas de sinusoidé. Un aspect tranché, souvent trans-sonore, à la limite profonde régulière et avec angle de raccordement suggestif, sont autant d'éléments autorisant une ponction pleurale.

Une formation incomplète sera à l'origine de pièges facilement évitables. Ainsi, une image perçue à travers le diaphragme par abord abdominal traditionnel n'autorise nullement à parler d'épanchement, puisqu'une consolidation peut donner une telle image, quand ce n'est pas une structure abdominale réfléchi par la coupole (image fantôme).

5. Pneumothorax

La sémiologie du pneumothorax peut sembler abstraite, puisqu'elle fait appel exclusivement à l'analyse des artefacts. Pourtant, l'échographie représente une approche extrême-

ment simple pour en finir avec un problème souvent évoqué par excès, donc générateur de dépenses d'énergie, mais parfois méconnu et alors responsable d'un retard thérapeutique.

5.1. Sémiologie

La sémiologie du pneumothorax est abstraite et complexe puisque c'est un ensemble de signes qui est exigé, mais elle a l'avantage d'être bien reproductible. Le pneumothorax étant une sémiologie « culminante », c'est, en décubitus dorsal, sur la paroi antérieure basse que portera l'analyse en priorité, cette zone étant impliquée dans 98 % des cas [31].

5.1.1. L'abolition du glissement pleural

Ce signe, que nous avons remarqué et utilisé depuis bien longtemps, figurait en fait déjà dans la littérature... vétérinaire [32]. Une immobilité frappante siège en lieu du glissement habituel. Ce seul signe, qui est loin de résumer la sémiologie du pneumothorax, est un temps basique. Nous pouvons l'objectiver en temps-mouvement (Fig. 6). Un glissement présent permet d'éliminer formellement le pneumothorax [33]. Fait crucial, l'abolition du glissement pleural, signe sensible à 100 %, n'est pas spécifique de pneumothorax, surtout chez le patient de réanimation. La spécificité, de 91 %, chute à 78 % quand la population contrôlée (étudiée par scanner) s'élargit [34], jusqu'à 60 % dans le cas du syndrome de détresse respiratoire de l'adulte (SDRA). Une explication possible est l'existence d'une symphyse pleurale aiguë, voire d'autres facteurs (atélectasie, fibrose ?). Paradoxalement donc, c'est chez le patient à haut risque de pneumothorax que le glissement est souvent aboli. Répétons qu'un glissement pleural aboli n'est pas spécifique de pneumothorax. Par « chance », la sémiologie du pneumothorax ne s'arrête pas là.

5.1.2. Le signe de la « ligne A »

De la ligne pleurale n'émanent que des artefacts horizontaux ou « lignes A » (Fig. 6). En aucun cas, des « fusées » ne

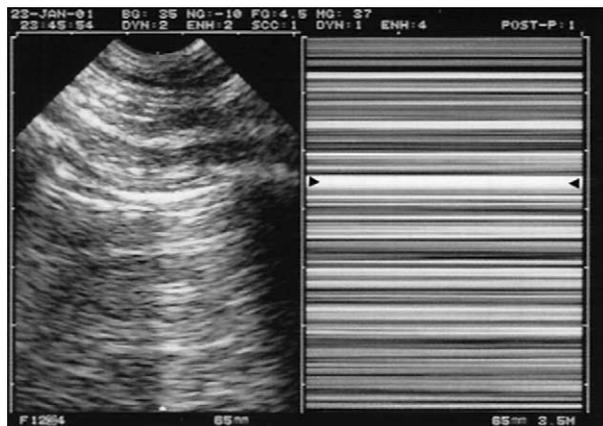


Fig. 6. (Pneumothorax). Abolition du glissement pleural. Si l'on veut objectiver ce signe sur un cliché, il faut utiliser le mode temps-mouvement, qui génère un ensemble de lignes rigoureusement horizontales, traduisant l'immobilité absolue en deçà de la ligne pleurale (flèches), signe de la « stratosphère ». Noter par ailleurs sur le cliché de gauche l'absence absolue de « fusées pleurales ».

seront visibles. En revanche, l'observation de « lignes Z » est fréquente. Le signe de la « ligne A », sensible à 100 %, n'est lui non plus aucunement spécifique. L'important, c'est que la détection de la moindre « ligne B », éventuellement fixe, permet d'éliminer le pneumothorax [35].

5.1.3. Le « point poumon »

Ce signe combine tous les signes précédents, pathologiques et normaux. Quand la sonde a identifié un profil évocateur de pneumothorax, soit une zone culminante dépourvue de glissement comme de « fusées », elle va pousser latéralement jusqu'à identifier le « point poumon » : c'est une zone où, sonde immobile, un profil de « lignes A fixes » laisse place, brutalement, à l'inspiration, à un profil normal. Ce signe suit une loi du « tout ou rien » (Fig. 7). Il est spécifique de pneumothorax à 100 %. La sensibilité, de 66 %, monte à 80 % pour les pneumothorax radio-occultes et chute pour les pneumothorax majeurs avec moignon complet [34].

La projection du « point poumon » informe sur le volume du pneumothorax. Brièvement, un « point poumon » antérieur signe le pneumothorax modéré (généralement radio-oculte), un « point poumon » absent ou très postérieur est le propre des pneumothorax massifs avec moignon.

5.1.4. Autres signes

Citons juste le « pouls pleural » et le « signe du remous », qui peuvent s'avérer précieux à l'occasion [18B].

5.2. Quelques applications

La radiographie occulte un pourcentage important de pneumothorax [10,36–38], parfois même sous tension [39]. Sur ce point, l'échographie a prouvé sa supériorité [34]. La radiographie n'offre qu'une idée grossière du volume du pneumothorax. Le scanner ne peut être proposé en routine. On peut même réfléchir sur son opportunité à titre de bilan en terme de balance débouché/irradiation [40]. Au total, l'écho-

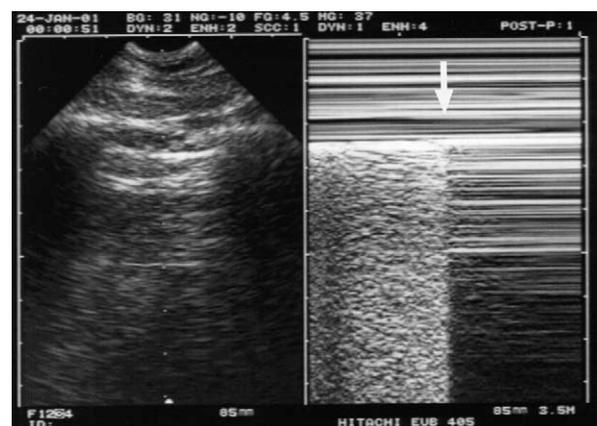


Fig. 7. (Pneumothorax et point poumon). Sur la figure de droite (temps-mouvement), un changement brutal de profil apparaît à l'endroit précis où le poumon collé mais soumis à une augmentation de volume lors de l'inspiration touche la paroi. Sur cette séquence, l'aspect en sable du poumon normal laisse place instantanément (flèche) à un aspect de lignes horizontales.



Fig. 8. (Lignes E). Ces queues de comètes bien définies descendent jusqu'au bord inférieur de l'image et naissent toutes d'une ligne superficielle. Toutefois, le signe de la « chauve-souris » est absent (comparer avec figure 2) et il ne peut donc s'agir de « lignes B ». Nous sommes ici en présence de nappes gazeuses superficielles d'emphysème pariétal.

graphie complètera une radiographie non contributive ou s'y substituera, ainsi qu'au scanner.

Les applications sont en fait multiples, développables ad libitum.

La reconnaissance du pneumothorax en urgence est l'application essentielle. Le diagnostic est accessible en pré-hospitalier, avec les appareils miniatures [41]. Cette utilisation permettra de pratiquer un drainage salvateur « éclairé » et non plus aveugle dans les cas les plus dramatiques.

Une application tout aussi basique est de pouvoir éliminer le pneumothorax en quelques secondes devant une insuffisance respiratoire aiguë, un arrêt cardiaque, après tout geste pleural (ponction pleurale, sous-clavière) ou chez tout patient ventilé. Une application élégante est le monitoring d'un pneumothorax drainé sur la seule échographie. On évitera ainsi le recours itératif aux radiographies, qui encombrant le dossier médical et alourdissent le coût. On peut encore surveiller le volume d'un pneumothorax que l'on ne désire pas drainer d'emblée, suivant l'évolution du « point poumon ». On peut pousser la logique jusqu'à éviter toute radiographie chez certains sujets (femme enceinte, enfant...).

5.3. Limites

Parmi les limites générales (voir infra), l'emphysème pariétal sera ici particulièrement source d'ennuis, car il peut dégrader considérablement l'image. Toutefois, il est parfois encore possible de voir s'il y a ou non pneumothorax associé [18C]. L'emphysème pariétal peut générer des « lignes E », redoutable piège pour le débutant qui croira identifier des fusées (Fig. 8).

Le pneumothorax postérieur et/ou cloisonné est une limite, encore que des signes indirects soient attendus [18C].

Une dyspnée majeure avec tirage gêne l'analyse du glissement. Elle est toutefois rare chez le pneumothorax spontané, ainsi que chez un patient ventilé, sédaté, curarisé.

Quand manque le « point poumon », on ne peut affirmer le diagnostic, mais il est clair qu'un patient présentant au décours d'un geste invasif : douleur, dyspnée, tympanisme et profil échographique évocateur, vient vraisemblablement de décoller son poumon.

Une technique non longitudinale, une recherche en zone non culminante, un lissage inadapté, la confusion entre lignes « B », « E » et « Z » sont des sources d'erreurs évitables avec l'expérience.

6. Syndrome interstitiel

Comme nous étudions un organe aéré et que le diagnostic fait donc encore appel exclusivement à l'analyse des artefacts, nous devons faire un pas de plus vers l'abstraction. Nous verrons comment et surtout pourquoi reconnaître un syndrome interstitiel, en détaillant certaines portes qui nous seront dès lors ouvertes.

6.1. Sémiologie

Le signe élémentaire est l'artefact en queue de comète, dans sa variété « ligne B » en fusées (Fig. 2). Des « fusées » diffuses sur l'ensemble de la paroi antérolatérale définissent le syndrome interstitiel échographique, avec une sensibilité de 93 % et une spécificité de 93 % [19]. Détailler les 7 % de faux-positifs et de faux-négatifs reviendrait à démontrer, corrélations scanographiques à l'appui, que ces « ratés » de l'échographie sont en fait des cas où la radiographie donnait des renseignements inappropriés.

L'artefact en queue de comète de type « ligne B » est la conséquence d'un contact étroit entre l'air (pulmonaire) et l'eau (des septa interlobulaires engorgés), deux éléments ayant une impédance acoustique très éloignée, l'eau transmettant bien les sons, alors que l'air les arrête. Cet artefact est présent sur la surface pulmonaire, sur toute cette surface, distant de 7 mm des éléments voisins, présent en cas d'œdème pulmonaire et disparaissant avec le traitement, tous éléments indiquant qu'il s'agit bien des septa interlobulaires, ce qu'ont confirmé les corrélations scanographiques. Les « lignes B » échographiques sont l'équivalent des « lignes B » de Kerley [42].

L'échographie ne visualise qu'indirectement le septum épaissi. Mesurant 700 μm (contre 300 pour un septum « sec »), il reste en-dessous du seuil de résolution de l'échographie. Seul le réseau superficiel est accessible à l'échographie, mais l'observation montre que son comportement permet d'inférer celui de l'ensemble du réseau. Le syndrome interstitiel aigu est presque toujours diffus, ce qui le rend écho-accessible dès le poser de la sonde.

Un espacement des artefacts d'environ 7 mm signe l'épaississement des septa interlobulaires (« lignes B7 »), tandis qu'un espacement d'environ 3 mm (« lignes B3 ») est corrélé à une lésion en verre dépoli [19].

6.2. Pourquoi l'échographie

L'échographie justifie sa place quand on sait qu'il n'existe pas de signe physique propre au syndrome interstitiel et que les signes radiologiques échappent souvent à la radiographie prise en urgence chez un patient dyspnéique. Paradoxalement, l'échographie permet la reconnaissance du syndrome interstitiel et cette donnée fournit un élément déterminant pour la prise en charge immédiate.

Les « fusées pleurales » éliminent formellement, on l'a vu, le pneumothorax [35].

Elles permettent, chez un patient dyspnéique, de différencier l'œdème aigu pulmonaire cardiogénique d'une poussée de bronchopathie chronique obstructive, avec dans ce cadre une sensibilité de 100 % et une spécificité de 92 % [43].

Des « fusées » sont inhabituelles dans l'embolie pulmonaire, nous verrons plus loin le profil attendu dans cette affection.

D'autres applications sont en cours d'étude : distinction entre œdème pulmonaire cardiogénique et lésionnel, appréciation qualitative de la pression capillaire pulmonaire, étude morphologique du SDRA, évaluation de l'ampliation pulmonaire, mesure de l'eau pulmonaire...

6.3. Limites

Les limites propres à l'application des « fusées » sont faibles. On ne peut distinguer œdème pulmonaire et syndrome interstitiel chronique, encore que le problème clinique est modéré et qu'au besoin la présence d'éléments alvéolaires et pleuraux suggèrera une origine aiguë.

La confusion entre « lignes B » et « Z » sera résolue par un enseignement adéquat.

7. Consolidation alvéolaire

Ce désordre quotidien en réanimation n'est pas toujours bien détecté sur la radiographie (l'auscultation est souvent même plus performante). Quand la radiographie est positive, elle ne fait qu'une sommation grossière mélangeant consolidation, épanchement, éventuelle abcédation... Or, la consolidation s'étend presque toujours jusqu'à la paroi, une caractéristique qui la rend d'emblée écho-accessible. Peu d'études traitent de cette potentialité basique [45].

7.1. Sémiologie

Les zones d'élection sont les segments postérieurs, déclives, mais une consolidation peut se voir partout. Une image d'allure tissulaire, « hépatisée », à limite profonde déchiquetée (à moins que l'ensemble du lobe ne soit consolidé), apparaît en lieu et place de l'écran aérique normalement visible (Fig. 9). Elle peut avoir une dynamique respiratoire dans l'axe crâniocaudal ou être totalement fixe, mais ne donne pas le signe de la « sinusôïde ». Ces critères confèrent à l'échographie une sensibilité de 91 % et une spécificité de

100 % chez des patients de réanimation, le scanner étant l'examen de référence [22].

L'échographie précise de nombreux points : volume, localisation selon le lobe, signes associés (pleurésie, abcès...), échostructure interne : des images punctiformes hyperéchogènes, traduisant les bronchogrammes aériques, peuvent être animées d'un mouvement centrifuge inspiratoire. Ce signe du « bronchogramme aérien dynamique » distingue les consolidations infectieuses des atélectasies, ce qui peut modifier la thérapeutique [18D]. L'absence de fusées pleurales satellites d'une consolidation orientera vers une pneumopathie d'inhalation.

7.2. Applications

Chez un patient présentant douleurs fébriles et radiographie subnormale, la découverte d'une consolidation appuiera le diagnostic. On peut quantifier l'atteinte alvéolaire et son évolution dans le SDRA, modifier la thérapeutique (prescription d'antibiotiques, fibro-aspiration, mise ou non en décubitus ventral...).

Une place pour l'échographie interventionnelle n'est pas encore définie. Toutefois, la ponction transcutanée à l'aiguille fine, dirigée par l'échographie, dans des conditions précises garantissant une sécurité maximale, pourrait à l'avenir fournir une documentation bactériologique fiable [18E].

7.3. Limites

La graisse sous-phrénique embarrassera le débutant qui n'a pas pris soin de localiser préalablement la coupole. Le « poumon noir échographique » est une limite plus réelle, car c'est une situation où la distinction entre épanchement pleural et consolidation est malaisée.



Fig. 9. (Consolidation alvéolaire). Consolidation alvéolaire massive du lobe inférieur gauche. On peut distinguer sur ce cliché la coupole, repère basique de toute échographie pulmonaire, des bronchogrammes aériques et enfin l'absence de tout épanchement liquidien associé. En temps réel, ces bronchogrammes ont une dynamique respiratoire (« bronchogrammes aériens dynamiques »), un signe qui peut avoir une influence sur le diagnostic. L, foie.

8. Autres applications

De multiples désordres ont une traduction échographique fidèle.

L'atélectasie donne une consolidation alvéolaire avec « bronchogramme aérien statique », attraction des organes voisins, pincement des espaces intercostaux, abolition du glissement pleural (Fig. 10). Un signe se voit même en cas d'atélectasie fraîche, encore massivement aérée, comme dans les secondes suivant une intubation sélective, c'est le « pouls pleural », ex-« pneumocardiogramme » [46]. Le contrôle radiographique post-intubation peut ainsi être évité.

Dans l'embolie pulmonaire, la présence de fusées diffuses culminantes est illogique et c'est en fait un profil de « lignes A » qui est attendu. Il est en effet retrouvé avec une sensibilité de 91 à 100 %, selon qu'on oppose ce profil à celui de « lignes B7 » ou « B3 » [44]. Le profil « A » est le corollaire de la radiographie classiquement normale. Chez un patient suspect d'embolie, ce profil est ainsi hautement évocateur. Par ailleurs, dans les zones déclives, de petites anomalies pleuro-alvéolaires sont souvent détectées. Certains auteurs décrivent des infarctus pulmonaires, signe qui ne semble pas retrouvé chez nos patients atteints de formes graves [47].

L'abcès pulmonaire apparaît comme une masse sombre arrondie au sein d'une consolidation. L'aspect est spécifique quoique peu sensible. L'abcès peut être ponctionné à visée diagnostique voire thérapeutique sous échographie.

L'abolition de l'amplification pulmonaire se voit par exemple en cas de symphyse pleurale aiguë, un désordre fréquent en cas de pneumopathie massive ou de SDRA. L'échographie donne un signe qu'aucun autre examen ne peut détecter : l'abolition du glissement pleural.

Enfin, le diaphragme peut être analysé en détail : situation, direction, amplitude, épaissement inspiratoire...

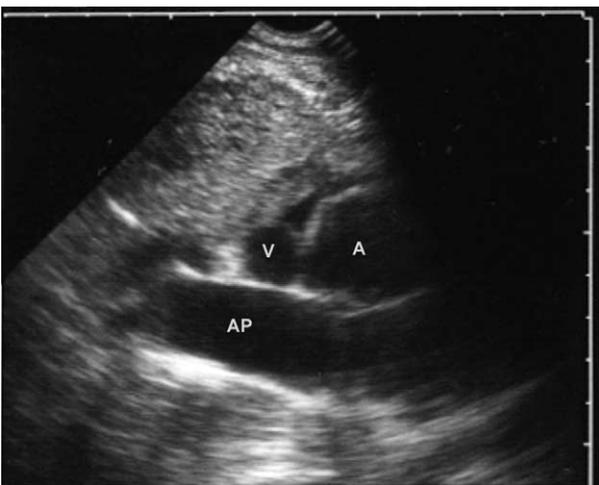


Fig. 10. (Atélectasie). Atélectasie massive du poumon droit. De multiples signes s'associent : consolidation alvéolaire, attraction médiastinale (l'abord est ici para-sternal droit). Non visibles sur ce cliché coexistent abolition du glissement pleural, ascension de la coupole et « pouls pleural ». Le médiastin (A, AP, V) devient au passage analysable à peu de frais et devrait être balayé de principe, juste avant la levée de cette atélectasie.

9. L'échographie pulmonaire, c'est aussi...

9.1. Un accès aux organes voisins

En effet, une fois la sonde en main et posée sur le thorax, on peut documenter le cœur, déjà dans son aspect bidimensionnel. Par ailleurs, l'échographie pulmonaire se combinera efficacement avec l'échographie veineuse. Bien d'autres ouvertures sont possibles, comme l'examen systématique de l'utérus. Ici, la constatation d'un état gravide devra faire considérer l'échographie comme un terminal décisionnel et bannir tout examen inutilement irradiant.

9.2. L'approche d'un patient dyspnéique

L'idée d'échographier un patient dyspnéique pourrait apparaître inopportune, si elle aboutissait à une perte de temps. Si au contraire, elle oriente d'emblée vers le bon diagnostic, en renfort (en substitution dans les cas très urgents) de la clinique et de la radiographie, elle aura alors parfaitement sa place. Dans l'urgence, l'échographie fournit le bon diagnostic dans 92 % des cas, alors que l'approche traditionnelle, associant clinique et radiographie, n'atteint cet objectif que dans 60 % des cas [48]. Le praticien doit ici parfaitement maîtriser l'usage des « profils échographiques » [18F,18G]. Dans cette utilisation, l'analyse des fusées pleurales et du réseau veineux occupent une place essentielle.

10. Alors, radiographie thoracique ou tomographie en réanimation ?

L'alternative se fait souvent entre ces deux examens [11]. L'analyse des potentialités de l'échographie montre qu'elle peut occuper une place de choix, se positionnant au vu des chiffres non loin du scanner [22]. Une technique rigoureuse est plus que nécessaire pour que l'échographie mérite sa place face à ce poids-lourd de l'imagerie. Sans entrer dans le détail [18H], nous mettrons en avant un inconvénient du scanner qu'il faut avoir à l'esprit : l'irradiation, cent fois supérieure à celle d'un cliché thoracique simple et dont les effets sont à présent connus chez la femme jeune [49] et l'enfant [50].

Mentionnons ici les limites générales de l'échographie pulmonaire. Un examen sera décevant en cas de barrière naturelle innée (thorax peu échogène), acquise (emphysème pariétal, calcifications pleurales, pléthore) ou artificielle (pansements, drains). Les lésions centrales (pneumotocèles, abcès profonds, adénopathies...) échapperont à l'échographie.

Parmi les autres limites, la nécessité d'une formation rigoureuse peut être considérée comme un inconvénient, du moins au début. En revanche, sous couvert de cet encadrement, le clinicien étendra progressivement son champ d'action à travers le corps entier. Par ailleurs, la simplicité de la logistique (il suffit d'un appareil simple et d'une prise électrique) peut se retourner contre le patient si elle n'est pas encadrée avec conscience.

11. Dernières considérations

L'échographie pulmonaire devrait d'abord bénéficier au patient réanimatoire. Juste après, c'est en traumatologie et aux urgences qu'elle sera appréciée. En médecine pré-hospitalière, l'échographie pulmonaire a déjà prouvé sa faisabilité [41]. Une fois ces priorités servies, on peut envisager un rôle prometteur en pneumologie, cardiologie, mais aussi en chirurgie thoracique, en pédiatrie, en anesthésiologie et pourquoi pas en médecine interne, tous domaines où il importe de « voir » le patient en transparence.

Pour qui a le souci du coût, l'échographie pulmonaire permettra de faire de très importantes économies de radiographies, scanners, angioscanners..., mais aussi drains évités et toutes les économies découlant d'un diagnostic ultra-précoce.

L'échographie devrait au départ compléter la radiographie, déjà parce que le meilleur des outils vaut moins que celui dont on a l'habitude. Passer brutalement au « tout à l'écho » en prohibant toute radiographie sans période d'adaptation est impensable. C'est avec le temps, progressivement et à force de voir des radiographies redondantes avec l'échographie ou pire, induisant en erreur, que le réanimateur diminuera ses demandes de radiographies, puis de scanners. À la moindre insuffisance de l'échographie, il saura évidemment revenir aux techniques conventionnelles. C'est si l'on maîtrise ses limites que l'échographie restera l'arme de haute précision qu'elle est.

12. Conclusions

Bien que le poumon soit habituellement négligé dans les manuels consacrés à l'échographie, les lignes précédentes démontrent que cette sentence doit être fortement nuancée. L'échographie, forme de « médecine à vue », procure une approche transparente du patient aigu, avec les retombées multiples qu'on peut imaginer.

L'échographie pulmonaire ne semble dotée que d'avantages : non invasive, immédiatement et partout applicable, elle fournit des diagnostics avec une acuité supérieure à la radiographie, fait gagner un temps précieux chez un patient dyspnéique, met le patient (et le clinicien) à l'abri de mauvaises surprises que sait générer l'urgence, améliore le confort du patient, la sérénité de l'équipe, engendre une diminution substantielle de coût et d'irradiation... Nous aimerions mettre en avant une qualité cruciale : la simplicité. Répondant avec une facilité parfois déconcertante à des questions pour lesquelles il fallait faire appel auparavant à des examens lourds ou qui restaient du domaine de la suppuration, l'échographie simplifie avec élégance des problèmes quotidiens de l'extrême urgence.

Cette méthode pacifique et conviviale trouvera une place toute désignée en réanimation et sera logiquement pratiquée en première ligne chez le patient critique. Symbolisant pour certains le stéthoscope de demain [51], l'échographie peut

déjà être considérée comme le stéthoscope d'aujourd'hui, puisque cette méthode nous permet d'observer (*scopein*) à travers le thorax (*stethos*).

Références

- [1] Laënnec R.T.H., Traité de l'auscultation médiate, Paris : J.A. Brosson & J.S. Claudé 1819, New York : Hafner, 1962.
- [2] Williams FH. The Roentgen rays in medicine and surgery. New York: Macmillan; 1901.
- [3] Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning. Brit J Radiol 1973;46:1016–22.
- [4] Greenbaum DM, Marschall KE. The value of routine daily chest X-rays in intubated patients in the medical intensive care unit. Crit Care Med 1982;10:29–30.
- [5] Henschke CI, Pasternack GS, Schroeder S, Hart KK, & Herman PG. Bedside chest radiography: diagnostic efficacy. Radiology 1983;149: 23–6.
- [6] Janower ML, Jennas-Nocera Z, Mukai J. Utility and efficacy of portable chest radiographs. Am J Roentgenol 1984;142:265–7.
- [7] Peruzzi W, Garner W, Bools J, Rasanen J, Mueller CF, & Reilley T. Portable chest roentgenography and CT in critically ill patients. Chest 1988;93:722–6.
- [8] Wiener MD, Garay SM, Leitman BS, Wiener DN, Ravin CE. Imaging of the intensive care unit patient. Clinics in Chest Medicine 1991;12: 169–98.
- [9] Winer-Muram HT, Rubin SA, Ellis JV, Jennings SG, Arheart KL, Wunderink RG, et al. Pneumonia and ARDS in patients receiving mechanical ventilation: diagnostic accuracy of chest radiography. Radiology 1993;188:479–85.
- [10] Tocino IM, Miller MH, Fairfax WR. Distribution of pneumothorax in the supine and semi-recumbent critically ill adult. Am J Roentgenol 1985;144:901–5.
- [11] Ivatury RR, Sugeran HJ. Chest radiograph or computed tomography in the intensive care unit? Crit Care Med 2000;28:1033–9.
- [12] Dénier A. Les ultrasons, leur application au diagnostic. Presse Méd 1946;22:307–8.
- [13] Jardin F, Dubourg O, editors. L'exploration échocardiographique en médecine d'urgence. Paris: Masson; 1986. p. 3–154.
- [14] Weinberger SE, Drazen JM. Harrison's principles of internal medicine. Ed. 15. New York: McGraw-Hill; 2001. p. 1454.
- [15] Lichtenstein D. Lung ultrasound in the intensive care unit. Research Signpost Recent Res Devel Resp Critical Care Med 2001;1:83–93.
- [16] Miller DL. Update on safety of diagnostic ultrasonography. J Clin Ultrasound 1991;19:531–40.
- [17] Taylor KJW. A prudent approach to Doppler ultrasonography. Radiology 1987;165:283–4.
- [18] Lichtenstein D. L'échographie générale en réanimation. 2^e ed. Paris: Springer-Verlag; 2002 A : p. 113, B : p. 117, C : p. 120, D : p. 125, E : p. 135, F : p. 141, G : p. 192, H : p. 140.
- [19] Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A, Barré O. The comet-tail artifact: an ultrasound sign of alveolar-interstitial syndrome. Am J Respir Crit Care Med 1997;156:1640–6.
- [20] Joyner CR, Herman RJ, Reid JM. Reflected ultrasound in the detection and localisation of pleural effusion. JAMA 1967;200:399–402.
- [21] Lichtenstein D, Hulot JS, Rabiller A, Tostivint I, Mezière G. Feasibility and safety of ultrasound-aided thoracentesis in mechanically ventilated patients. Intensive Care Med 1999;25:955–8.
- [22] Lichtenstein D, Cluzel P, Grenier P, Coriat P, Rouby JJ. Apport de l'échographie pulmonaire dans le SDRA. Ann Fr Anesth Réanim 1998;17:R.182 : 903.
- [23] Mattison LE, Coppage L, Alderman DF, Herlong JO, Sahn SA. Pleural effusions in the medical ICU: prevalence, causes and clinical implications. Chest 1997;111:1018–23.

- [24] Müller NL. Imaging the pleura, State of the art. *Radiology* 1993;186:297–309.
- [25] Collins JD, Burwell D, Furmanski S, Lorber P, Steckel RJ. Minimal detectable pleural effusions. *Radiology* 1972;105:51–3.
- [26] Menu Y. Echographie pleurale. In: Grenier P, editor. *Imagerie thoracique de l'adulte*. Paris: Flammarion Médecine-Science; 1996. p. 135–45.
- [27] Doust B, Baum JK, Maklad NF, Doust VL. Ultrasonic evaluation of pleural opacities. *Radiology* 1975;114:135–40.
- [28] Yang PC, Luh KT, Chang DB, Wu HD, Yu CJ, Kuo SH. Value of sonography in determining the nature of pleural effusion: analysis of 320 cases. *Am J Roentgenol* 1992;159:29–33.
- [29] Talmor M, Hydo L, Gershenwald JG, Barie PS. Beneficial effects of chest tube drainage of pleural effusion in acute respiratory failure refractory to PEEP ventilation. *Surgery* 1998;123:137–43.
- [30] Depardieu F, Capellier G, Rontes O, Blasco G, Balvay P, Belle E, et al. Conséquence du drainage des épanchements liquidiens pleuraux chez les patients de réanimation ventilés. *Ann Fr Anesth Réanim* 1997;16:785 (R370).
- [31] Lichtenstein D, Holzappel L, Frija J. Projection cutanée des pneumothorax et impact sur leur diagnostic échographique. *Réan Urg* 2000;9(Suppl 2):138s.
- [32] Rantanen NW. Diseases of the thorax. *Vet Clin North Am* 1986;2:49–66.
- [33] Lichtenstein D, Menu Y. A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill: lung sliding. *Chest* 1995;108:1345–8.
- [34] Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A. The lung point: an ultrasound sign specific to pneumothorax. *Intensive Care Med* 2000;26:1434–40.
- [35] Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A. The comet-tail artifact, an ultrasound sign ruling out pneumothorax. *Intensive Care Med* 1999;25:383–8.
- [36] Kurdziel JC, Dondelinger RF, Hemmer M. Radiological management of blunt polytrauma with CT and angiography: an integrated approach. *Ann Radiol* 1987;30:121–4.
- [37] Hill SL, Edmisten T, Holtzman G, Wright A. The occult pneumothorax: an increasing diagnostic entity in trauma. *Am Surg* 1999;65:254–8.
- [38] McGonigal MD, Schwab CW, Kauder DR, Miller WT, Grumbach K. Supplemented emergent chest CT in the management of blunt torso trauma. *J Trauma* 1990;30:1431–5.
- [39] Gobien RP, Reines HD, Schabel SI. Localized tension pneumothorax: unrecognized form of barotrauma in ARDS. *Radiology* 1982;142:15–9.
- [40] Sahn SA, Heffner JE. Spontaneous pneumothorax. *New Engl J Med* 2000;342:868–74.
- [41] Lichtenstein D, Courret JP. Feasibility of ultrasound in the helicopter. *Intensive Care Med* 1998;24:1119.
- [42] Kerley P. Radiology in heart disease. *Br Med J* 1933;2:594.
- [43] Lichtenstein D, Mezière G. A lung ultrasound sign allowing bedside distinction between pulmonary edema and COPD: the comet-tail artifact. *Intensive Care Med* 1998;24:1331–4.
- [44] Lichtenstein D, Mezière G, Courret JP, Gepner A. Aide de l'artefact échographique en queue de comète dans le diagnostic d'embolie pulmonaire. *Réan Urg* 2001;10(Suppl 1):91s.
- [45] Weinberg B, Diakoumakis EE, Kass EG, Seife B, Zvi ZB. The air bronchogram: sonographic demonstration. *Am J Roentgenol* 1986;147:593.
- [46] Lichtenstein D, Mezière G, Courret JP, Gepner A. Le pneumocardiogramme, un signe échographique précoce d'atélectasie complète. *Réan Urg* 2001;10(Suppl 1):137s.
- [47] Mathis G, Dirschmid K. Pulmonary infarction: sonographic appearance with pathologic correlation. *Eur J Radiol* 1993;17:170–4.
- [48] Lichtenstein D, Mezière G. Echographie d'une détresse respiratoire. *Réan Urg* 1999;8(suppl 3):184s.
- [49] Hopper KD, King SH, Lobell ME, Tenhave TR, Weaver JS. The breast: in-plane X-ray protection during diagnostic thoracic CT – Shielding with Bismuth radioprotective garments. *Radiology* 1997;205:853–8.
- [50] Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ, Berdon WE. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *Am J Roentgenol* 2001;176:289–96.
- [51] Filly RA. Ultrasound: the stethoscope of the future. *Radiology* 1988;167:400.