



Sous l'égide de la SPLF
Coordination Sylvain Marchand-Adam

La Pneumologie fondée sur les preuves

5^e édition

7 Pneumothorax spontané primaire

M. Massongo (Yaoundé), C.-H. Marquette (Nice)

Messages clés

- La notion de pneumothorax spontané « primaire » (PSP) est progressivement remise en question.
- Au sein des pneumothorax dits « primaires » on peut distinguer des catégories qui nécessitent des prises en charge spécifiques.
- La pathogénie précise de la fuite d'air dans la plèvre est encore incomplètement comprise.
- Le sevrage tabagique et l'enquête familiale font partie intégrante de la prise en charge des PSP.
- Le cliché de thorax de face en inspiration reste l'examen de référence.
- Le but du traitement d'un PSP est double : évacuer l'air et prévenir les récurrences.
- L'évacuation de l'air n'est pas systématique, elle doit tenir compte de la tolérance du pneumothorax et de sa taille.
- Si la décision d'évacuer l'air est prise, on a le choix entre l'exsufflation manuelle suivie, en cas d'échec, de la mise en place d'un drain pleural de petit calibre OU la mise en place d'un drain pleural de petit calibre connecté à une valve unidirectionnelle (valve de Heimlich).
- L'aspiration d'emblée et le clamage n'ont plus de place.
- L'avenir est à une prise en charge ambulatoire.
- La prévention des récurrences passe par la réalisation d'une pleurodèse.

Les éléments pour comprendre

1. Définition

Le pneumothorax spontané a été initialement décrit par Laennec en 1819 [1] et, depuis la description de Kjaergaard en 1932 [2], on a classiquement distingué les PSP, survenant sur un poumon exempt de maladie pulmonaire connue, des pneumothorax secondaires (PSS), survenant sur un poumon pathologique (BPCO, processus parenchymateux nécrosants, pneumopathies interstitielles, mucoviscidose, etc.). Sont exclus de la définition les pneumothorax traumatiques et iatrogènes. La distinction initiale entre PSP et PSS était essentielle car la grande pourvoyeuse de PSS à l'époque était la tuberculose. En termes de prise en charge, il convenait de distinguer les pneumothorax dits simples (patients sans maladie pulmonaire connue) de ceux qu'il fallait isoler, les tuberculeux. Cette distinction n'est plus aussi pertinente et, en réalité, dans la mesure où la première cause des pneumothorax spontanés dit primaires est le tabagisme, il paraît inexact de parler de poumon sain dans ce contexte, tant on sait que, très tôt dans l'histoire du fumeur, on peut mettre en évidence des anomalies ultrastructurales du parenchyme pulmonaire [3,4]. Grâce aux techniques scanographiques notamment, la distinction primaire-secondaire devient progressivement floue, les patients souffrant de pneumothorax « primaire » se voyant de plus en plus souvent découvrir des anomalies qui seraient passées inaperçues sur une simple radiographie de thorax [5,6]. Ceci est à même de conduire à une

classification différente dans le futur [7,8], classification qui ne se limiterait pas seulement à la distinction poumon sain ou pathologique mais intégrerait aussi les modalités de prise en charge différentes, au sein des pneumothorax spontanés d'apparence « primaire » (tableau I).

Tableau I - Vers une classification centrée sur la prise en charge

Type de pneumothorax	Pistes thérapeutiques
Pneumothorax iatrogène	Évolution en général favorable, prise en charge conservatrice possible
Pneumothorax traumatique	Prise en charge du traumatisme sous-jacent et de l'atteinte pulmonaire
Pneumothorax idiopathique	En général faible risque de récurrence, traitement conservateur et ambulatoire envisageable
Pneumothorax dans un contexte de maladie bronchopulmonaire connue (BPCO, mucoviscidose, cancer du poumon, pneumopathie interstitielle diffuse [PID])	Haut risque de récurrence et de fuite d'air prolongée, indication de pleurodèse précoce, optimisation de la prise en charge, maladie sous-jacente
Pneumothorax associé à l' endométriose	Rôle potentiel du traitement hormonal, haut risque de récurrence
Pneumothorax avec prédisposition génétique (Marfan, Birt-Hogg-Dubé)	Pathologie multisystémique associée, dépistage familial
Pneumothorax avec anomalies parenchymateuses méconnues (bronchiolite respiratoire, maladie bulleuse)	Sevrage tabagique, envisager traitement chirurgical précoce chez certains patients
Pneumothorax associé à une infection ou une immunodépression	Identification du déficit immunitaire sous-jacent, traitement anti-infectieux ciblé

2. Rappels de physiopathologie

2.1. Principes de constitution d'un pneumothorax spontané

À l'état normal le feuillet pariétal et le feuillet viscéral de la plèvre sont accolés et il n'y a pas de gaz dans la cavité pleurale. Dans cet espace pleural virtuel la pression est négative par rapport à la pression intra-alvéolaire. Le vide pleural et l'accolement des feuillets pleuraux permettent de transmettre au parenchyme pulmonaire les mouvements du thorax osseux et musculaire (diaphragme) à l'inspiration, permettant ainsi à l'air de rentrer dans le poumon. Lors de l'expiration, la force de rétraction élastique du poumon qui revient à sa position de repos est transmise au thorax osseux et musculaire, la cage thoracique s'affaisse et les coupes diaphragmatiques s'incurvent vers le haut. Lors d'un pneumothorax spontané, l'air présent dans le parenchyme pulmonaire fait irruption dans l'espace pleural, entraînant immédiatement le décollement des feuillets pleuraux et la perte du vide pleural. Ceci a pour conséquence la perte de transmission de ces forces à l'inspiration et à l'expiration. Si la fuite aérienne du parenchyme pulmonaire vers l'espace pleural est prolongée ou importante [9-11], le poumon retourne progressivement à sa position de repos et se rétracte sur le hile (moignon), entraînant une diminution voire une abolition de la ventilation alvéolaire ipsi-

latérale. Si la fuite vers l'espace pleural est à double sens, la pression pleurale va passer de négatif à zéro (= pression atmosphérique). Si, par un effet de valve, l'air pénètre dans l'espace pleural à l'inspiration et y est piégé à l'expiration (fuite unidirectionnelle), la pression dans l'espace pleural va se positiver. On parle alors de pneumothorax sous tension, réalisant une tamponnade gazeuse qui compromet le retour veineux cardiaque avec une chute de la pression artérielle et, à l'extrême, le décès du patient par défaillance hémodynamique [11-16].

2.2. Passage de l'air dans la cavité pleurale au travers de la plèvre viscérale

La pathogénie précise des PSP est incomplètement comprise. Le mécanisme présumé de la constitution d'un PSP est la rupture d'une bulle (ou blebs) sous-pleurale sous l'effet d'une élévation de pression en son sein [9,15]. L'air fuit depuis la bulle rompue vers la cavité pleurale. Cette image de bulle qui se rompt dans la cavité pleurale, si elle a le mérite d'être parlante, est très probablement simpliste. Si la présence de blebs est trouvée dans 60 à 90 % des cas de PSP ayant été traités par vidéothoroscopie chirurgicale, et dans plus de 80 % des PSP ayant bénéficié d'un examen TDM thoracique [6,17,18], ces taux élevés ne démontrent pas de relation de causalité entre présence de blebs et fuite pleurale. Par ailleurs différents travaux ont montré des modifications histologiques diffuses de la plèvre viscérale avec augmentation de la porosité [19-22]. Enfin, le taux de récurrence élevé de PSP en cas de bullectomie isolée (sans geste de symphyse pleurale associé) plaide contre le mécanisme simpliste de la bulle qui se rompt [23-26]. Dans les PSS, il est plus fréquent de mettre en évidence une solution de continuité dans la plèvre viscérale avec fistule bronchopleurale. Ceci est vrai en particulier au cours des processus nécrosants ou kystiques du parenchyme pulmonaire. En revanche dans les bronchopathies chroniques obstructives, même en présence d'un emphysème avéré, le lien « bulle d'emphysème - pneumothorax » est discuté [27].

2.3. Pneumomédiastin spontané, une variante du pneumothorax spontané

En cas d'élévation du gradient de pression entre l'espace intraalvéolaire et l'espace péri-alvéolaire, l'air peut aussi fuir de l'alvéole vers l'espace interstitiel péri-alvéolaire, puis cheminer de façon centripète le long des feuillets péribronchiques et périvasculaires pour gagner le médiastin puis les espaces cutanéomusculaires du cou et du thorax, réalisant alors un pneumomédiastin ± emphysème sous-cutané [19,28,29]. En cas d'élévation de la pression médiastinale, l'air peut aussi fuir vers l'espace pleural au travers de la plèvre médiastinale et alors réaliser un pneumothorax. Ce mécanisme a été évoqué notamment en cas de blast thoracique mais aussi au cours des pneumothorax compliquant les pathologies bronchiques obstructives (BPCO, asthme, bronchiolites constrictives, bronchiolite respiratoire du fumeur, etc.) [29-31].

2.4. Mécanisme de résorption de l'air pleural

L'air présent dans la cavité pleurale se dissout dans le liquide interstitiel, le cytoplasme des cellules mésothéliales et le plasma circulant en fonction des gradients locaux de pressions partielles de chaque gaz [32]. Les cellules mésothéliales éliminent le gaz par consommation de l'oxygène.

L'ampleur du problème

1. Épidémiologie

L'incidence du PSP en Suède est de 18 pour 100 000 pour les hommes et de 6 pour 100 000

pour les femmes [33]. Des chiffres du même ordre de grandeur ont été rapportés en Grande-Bretagne [34]. Le cout annuel du PSP aux États-Unis est chiffré à 130 millions de dollars [35]. La mortalité du PSP est proche de zéro.

2. Facteurs et circonstances favorisant la survenue d'un PSP

Par définition, il n'y a pas d'étiologie du PSP. Le seul facteur de risque démontré de survenue d'un PSP est la cigarette (tabac et cannabis) [36]. Une étude rétrospective suédoise a comparé le taux de tabagisme chez 138 patients souffrant de PSP sur une période de 10 ans à une population témoin. 88 % des PSP fumaient et le RR lié au tabac était augmenté d'un facteur 9 et 22 chez les femmes et hommes fumeurs respectivement, avec une forte relation dose inhalée/risque de pneumothorax [33]. Le sevrage tabagique est associé à une réduction substantielle des récurrences [37].

Les PSP ont aussi été décrits comme pouvant survenir par petites épidémies, faisant suspecter le rôle des changements de pression atmosphérique [38] ou de la pollution [39]. Même si elle a pu être décrite lors d'inhalation de cannabis ou au cours de rapports sexuels [40], la notion ancienne de survenue de PSP lors d'un effort à glotte fermée doit être définitivement oubliée. Même si elle semble cohérente avec la notion de barotraumatisme conduisant à la rupture d'une bulle, cette notion est contredite par les faits épidémiologiques dans la mesure où la très grande majorité des PSP surviennent au repos [41-43].

Près de 10 % des patients rapportent une histoire familiale. Certaines pathologies héréditaires prédisposent au développement de pneumothorax : syndrome de Marfan, syndrome de Birt-Hogg-Dubé, autres mutations du gène de la folliculine (FLCN), déficit en alpha-1-antitrypsine et homocystéinurie [44-46]. Même si prises individuellement ces affections sont rares, elles représentent une minorité substantielle. Les identifier a des conséquences à la fois pour la prise en charge du patient qui présente un PSP, pour la recherche d'affections associées (ex. cancer du rein dans le Birt-Hogg-Dubé) et enfin pour l'enquête familiale.

L'évaluation des PSP

1. Présentation clinique

Typiquement les patients présentent une douleur aigüe basithoracique respirodépendante qui peut irradier dans l'épaule. Ce début brutal survient dans la très grande majorité des cas au repos. Cette douleur peut s'accompagner d'une toux. Contrairement aux PSS, la dyspnée est rare, c'est pourquoi une dyspnée associée à un pneumothorax spontané d'allure primitive doit faire douter du caractère primaire. Les symptômes s'estompent en général rapidement et leur aggravation doit, là aussi, faire douter du caractère primaire du pneumothorax. Typiquement, l'examen retrouve une diminution de la mobilité de l'hémithorax, un tympanisme, une diminution des vibrations vocales et une diminution voire une abolition du murmure vésiculaire. Une défaillance hémodynamique ou une désaturation doivent faire suspecter un pneumothorax sous tension et remettre en cause le caractère primaire du pneumothorax. Les PSP asymptomatiques, de découverte fortuite, ne sont pas exceptionnels [47].

2. Imagerie

2.1. Radiographie thoracique

Debout, de face, en inspiration et en incidence postéroantérieure, c'est l'examen nécessaire et suffisant pour diagnostiquer un PSP [12,13,15,48]. La valeur diagnostique des clichés en expiration proposée dans le passé quand le diagnostic n'était pas flagrant sur la radiographie en inspiration, a été remise en question par des études qui ont montré que ces clichés en expiration n'apportaient rien en termes de rentabilité diagnostique [48-50].

2.2. TDM

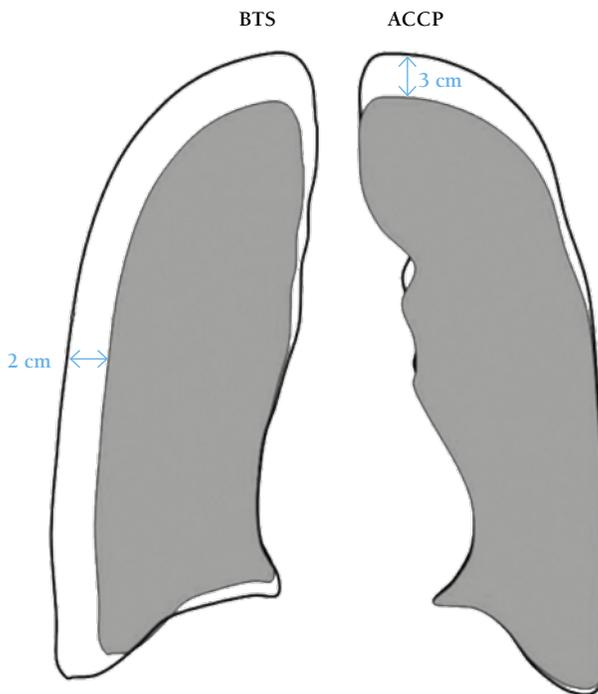
L'examen diagnostique le plus sensible est la TDM, mais son intérêt pour l'orientation thérapeutique n'est pas évalué [12,13,15,17,35,51-56]. Il n'existe pas d'étude comparative évaluant la supériorité (ou non) de la TDM thoracique par rapport au cliché thoracique pour une suspicion de PSP [51]. Il n'existe pas d'étude évaluant l'intérêt de la TDM thoracique en haute résolution pour la décision thérapeutique [35,51]. L'identification par la TDM de bulles et blebs homo- ou controlatéraux lors de la prise en charge diagnostique d'un PSP n'a pas d'intérêt démontré sur le traitement immédiat [6,9]. De même, la valeur prédictive de la présence de blebs ou de bulles sur la probabilité de récurrence homo- ou controlatérale est loin de faire consensus [28,57-59]. Faute de travaux permettant de trancher, la décision d'effectuer une pleurodèse reposant sur la présence de blebs ou bulles sur le scanner, n'est pas justifiée à ce jour [7].

2.3. Échographie pleurale

L'échographie transthoracique peut reconnaître la présence d'air dans la cavité pleurale. Cette technique aurait une sensibilité de 95 % chez les patients sous ventilation mécanique [60]. L'échographie pleurale est plus sensible que le cliché de thorax standard pour détecter un pneumothorax résiduel après drainage [61]. Si l'échographie est entrée dans les mœurs pour l'évaluation des épanchements aériques et/ou liquidiens du polytraumatisé ou du patient de réanimation, l'apport de l'échographie en routine pour le diagnostic positif et la conduite thérapeutique des PSP [56] n'est pas clairement établi.

2.4. Mesure du volume du pneumothorax

Les formules mathématiques de calcul du pourcentage et du volume de pneumothorax à partir du cliché thoracique [62] ne sont prédictives ni du pronostic immédiat, ni de la récurrence à court ou à moyen terme et leur exactitude a été largement remise en question [7]. L'intérêt de la mesure et des calculs du volume d'un PSP par la TDM n'est pas connu [5,17]. L'*American College of Chest Physicians* (ACCP) définit un pneumothorax de grande taille comme un pneumothorax pour lequel la distance mesurée entre l'apex du poumon et l'apex du thorax est supérieure ou égale à 3 cm [35]. La BTS définit un pneumothorax de grande taille comme un pneumothorax dont le poumon est décollé sur toute la hauteur et la distance interpleurale (entre la lisière pulmonaire et la paroi) mesurée au niveau du hile est supérieure ou égale à 2 cm [52] (*figure 1*). La Société belge de pneumologie définit un pneumothorax de grande taille comme un pneumothorax dont le poumon est décollé sur toute la hauteur [63]. Au moins deux études ont montré que l'agréement de classification entre ces 3 définitions était inférieur à 50 %, semant le doute sur leur réelle utilité dans l'aide à la prise en charge [41,64].

Figure 1 - Définition d'un pneumothorax de grande taille selon la BTS et selon l'ACCP

La prise en charge d'un premier épisode

1. Buts

Le but du traitement d'un PSP est double : évacuer l'air et prévenir les récurrences. L'évolution et la vitesse de la résorption spontanée d'un premier PSP ne sont pas connues de façon précise [65]. Les données avancées sont de 1,25 à 2,2 % du volume par jour [18,48,66,67]. Les indications de traitement (conservateur ou actif) actuellement appliquées relèvent plus du bon sens clinique et du principe de précaution, que d'une évidence scientifique bien établie.

2. Traitement conservateur : observation simple

La nécessité d'un récollément le plus rapide possible du feuillet pleural viscéral contre le feuillet pariétal, repose sur l'hypothèse que ce récollément, s'il n'entraîne pas de symphyse, favorise la fermeture de la « brèche » pleurale viscérale [29]. Cette vision des choses est débattue et l'hypothèse inverse est avancée par certains, qui plaident pour un effet cicatrisant du poumon collabé, conduisant à attendre avant d'évacuer l'air de la cavité pleurale, même en cas de pneumothorax complet [67].

Le bénéfice du repos n'est pas démontré. La poursuite de l'activité professionnelle peut parfaitement être envisagée [67]. L'utilisation de l'oxygénothérapie normobare discontinuée à haute

concentration, dans un but de dénitrogénéation du gaz intrapleurale, n'a pas d'efficacité démontrée sur la diminution du temps de résorption spontanée d'un PSP.

L'observation simple a souvent été proposée pour des pneumothorax de petite taille [9,35,42,48,52,63] où elle atteint une efficacité de 100 % [42]. Deux séries rétrospectives d'effectif acceptable ont montré son efficacité (79 % et 96,7 %) et son innocuité dans le PSP de grande taille [64,67]. Elle peut être proposée comme alternative à l'évacuation de l'air, y compris dans des pneumothorax de grande taille pour des patients sélectionnés, notamment si les symptômes liés au pneumothorax n'interfèrent pas avec les activités du patient [68]. On sait alors qu'il faut jusqu'à 2 mois pour réexpandre un pneumothorax complet [67].

3. Traitements actifs: évacuation de l'air

3.1. Décompression à l'aiguille (si et seulement si pneumothorax sous tension)

Une aiguille creuse de gros calibre (< 18 G) ouverte doit être insérée en intercostal, en association avec un remplissage vasculaire [11,31,48]. L'efficacité de la décompression semble plus proportionnelle à la longueur de l'aiguille ou du cathéter qu'à son diamètre [69-71]. Il a ainsi été montré qu'une longueur d'au moins 6,44 cm permettait de traiter avec succès 95 % des pneumothorax sous tension [72].

3.2. Aspiration (exsufflation) manuelle ou drain thoracique ?

Les trois recommandations publiées ne s'accordent pas sur cette question. Pour la BTS, l'aspiration manuelle est proposée en première intention avant le drain thoracique de petit calibre [52], alors qu'elle est au même niveau pour la Société belge de pneumologie [63] et n'est pas du tout proposée par l'ACCP [35].

Cinq essais randomisés contrôlés ont comparé l'aspiration manuelle au drainage thoracique conventionnel [73-77] et sont résumés au *tableau II*.

Les 4 premiers ont fait l'objet d'une métaanalyse publiée en 2010 [78], qui montrait une supériorité du drainage thoracique conventionnel pour le succès immédiat, et l'absence de différence significative pour : le succès à J7, le taux de récurrences précoces, le succès à 1 an et le nombre de symphyses pleurales à 1 an. En revanche, l'exsufflation à l'aiguille est associée à une réduction du nombre d'hospitalisations. Cependant la plupart de ces essais maintenaient dans le bras aspiration manuelle les patients dont le pneumothorax était évacué par drainage thoracique conventionnel après échec d'une aspiration manuelle initiale. L'efficacité réelle de l'aspiration manuelle seule varie entre 50 % et 72 % contre 85 à 93 % pour le drainage thoracique conventionnel dans les mêmes études [64,73,74,76,77,79].

Les récentes recommandations de l'ERS [7] retiennent, comme la BTS, l'exsufflation manuelle en première intention suivie, en cas d'échec, de la mise en place d'un drain pleural de petit calibre. En alternative à cette séquence, l'ERS propose la mise en place d'un drain pleural de tout petit calibre connecté à une valve unidirectionnelle (valve de Heimlich).

3.3. Drain de petit calibre ou drain conventionnel ?

Dans leurs recommandations, les sociétés savantes n'accordent presque plus de place aux drains de moyen (16-22 Fr) et gros (24-28 Fr), en dehors de l'ACCP dans certaines situations (état clinique du patient, suspicion de fistule bronchopleurale) [35,52,63].

L'évidence scientifique en faveur de l'usage des drains de petit calibre (≤ 14 Fr) ou minidrain s'est améliorée au cours des 15 dernières années. Les études non comparatives montrent un taux de succès primaire de $80,5\% \pm 10,9$ [41,42,79-84]. Les études comparatives montrent vis-à-vis du drainage thoracique conventionnel une efficacité comparable [85-87] voire supérieure [88],

et vis-à-vis de l'aspiration manuelle une réexpansion complète plus rapide et un avantage non significatif quant à la nécessité d'un geste supplémentaire [89]. Les minidrains offrent en plus: la possibilité d'une prise en charge ambulatoire, une diminution de la durée moyenne d'hospitalisation et de drainage, du recours aux analgésiques de niveau 2 et 3, du taux de complications et du cout global de prise en charge de l'épisode; pour un taux de récurrence à 2 ans (17 à 34%) comparable aux autres méthodes médicales (aspiration manuelle et drainage thoracique conventionnel) [41,42,81-83,85,86,88-90]. Les récentes recommandations de l'ERS se prononcent clairement pour les drains de petit calibre [7].

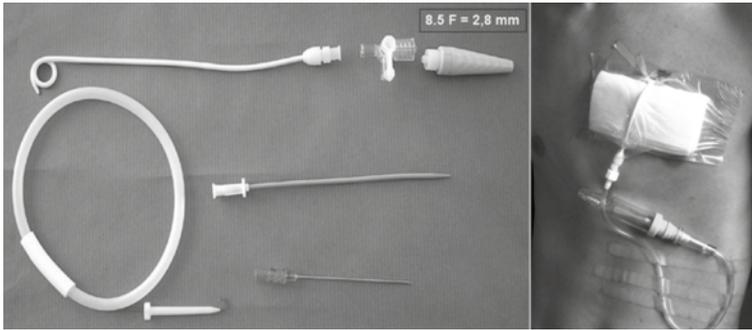
Tableau II - Études randomisées aspiration manuelle versus drainage thoracique dans la prise en charge du PSP

Auteurs	Année	Effectif	Critères de jugement	Aspiration manuelle	Drain thoracique	Différence
Harvey <i>et al.</i> [75]	1994	73	Succès (%)	80	100	ND
			Durée d'hospitalisation (j)	3,2	5,3	P = 0,005
			Récidives à 1 an (%)	17	29	NS
Andrivet <i>et al.</i> [73]	1995	61	Succès (%)	67	93	P = 0,01
			Durée d'hospitalisation (j)	7	7	NS
			Récidives à 3 mois (%)	14	29	NS
Noppen <i>et al.</i> [76]	2002	60	Succès immédiat (%)	59	64	NS
			Admissions (%)	52	100	P < 0,0001
			Succès à 1 semaine (%)	93	85	NS
			Récidives à 1 an (%)	26	27	NS
Ayed <i>et al.</i> [74]	2006	137	Succès immédiat (%)	62	68	NS
			Succès à 1 semaine (%)	89	88	NS
			Récidives à 1 an (%)	22	24	NS
Parlak <i>et al.</i> * [77]	2012	56	Succès immédiat (%)	68	81	NS
			Succès à 2 semaines (%)	100	100	NS
			Récidives à 1 an (%)	4	13	NS

ND, non déterminé; NS, non significatif.

* Inclut pneumothorax traumatique.

En France le minidrain le plus utilisé est le drain de Fuhrman 8,5 Fr en queue de cochon (Cook® critical care, Bloomington, IN, États-Unis) (figure 2).

Figure 2 - Présentation d'un drain de Fuhrman

Kit complet posé et connecté à une valve de Heimlich.

Pour le drainage thoracique conventionnel, le site d'insertion préférentiel n'est pas déterminé, ni l'intérêt d'un repérage en imagerie de l'introduction et du positionnement du drain, ni l'intérêt d'un positionnement supérieur. Les mini drains sont posés chez un patient en position demi-assise, par voie antérieure, selon la méthode de Seldinger utilisée pour la pose de cathéters vasculaires centraux (*figure 2*). La fixation du drain avec du fil de suture est optionnelle [41,42,83,84,87,88,91]. L'antibioprophylaxie avant ou après la pose d'un drain thoracique pour un PSP n'est pas recommandée [56].

3.4. Appliquer ou non une aspiration d'emblée ?

Comme nous l'avons vu plus haut, les partisans d'une aspiration d'emblée justifient cette attitude par l'effet bénéfique de « fermeture de la brèche » de la plèvre viscérale lié à l'accolement des feuillets pleuraux [52]. Ceci n'a jamais été démontré et, en réalité, peu de données sont disponibles sur l'intérêt d'associer une aspiration sous vide au drain thoracique. Le taux de réexpansion sous drainage unidirectionnel seul atteint son maximum entre J2 et J3, allant jusqu'à 82 % [42,84,92,93]. Il n'est pas indiqué d'appliquer d'emblée une aspiration au drain pour tous les patients, elle pourrait être réservée à ceux présentant une fuite persistante [52]. Cependant l'aspiration prolongée entraîne un retard de la prise en charge définitive, considérée par certains comme délétère aux patients [93]. Les mini drains sont utilisés en première intention avec une valve unidirectionnelle portable, la plus connue étant la valve de Heimlich (*Cook® critical care*, Bloomington, IN, États-Unis), mais la connexion au Pleur-Evac et autres systèmes d'évacuation ou aspiration reste possible. Ce système permet la déambulation et la prise en charge ambulatoire (*figure 2*). Une revue récente portant sur plus de 1 200 patients traités avec la seule valve unidirectionnelle (Heimlich) dans le PSP a montré un taux de succès primaire de 83,3 % [94]. La BTS et l'ERS ne recommandent la mise du drain en aspiration d'emblée que dans les rares cas où le décollement pleural est mal toléré par le patient.

3.5. Ablation avec ou sans clampage du drain ?

Le clampage d'un drain thoracique peut être dangereux en cas de bullage, témoin d'une brèche bronchopleurale. Un drain clampé est équivalent à l'absence de drain et expose au risque de pneumothorax sous tension, si une récurrence survient et qu'il existe une brèche bronchopleurale [11,95]. En cas d'arrêt du bullage et de réexpansion complète, l'intérêt du clampage du drain avant son ablation n'a pas été démontré. La technique d'ablation d'un drain thoracique n'est pas codifiée, mais l'expiration active du patient (manœuvre de Valsalva) et la mise en aspiration du drain, afin d'éviter l'entrée d'air du dehors en dedans et permettre l'aspiration de caillots et de fibrine pendant l'extraction, sont rapportées et de bon sens.

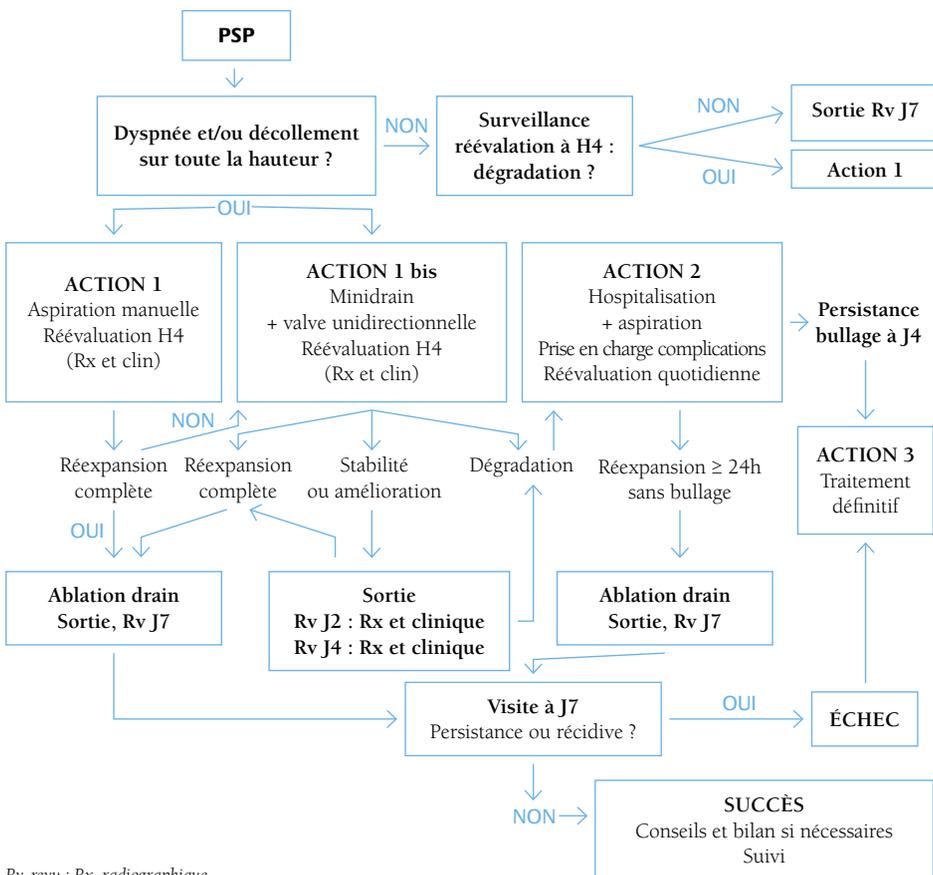
4. Prise en charge ambulatoire

Pendant des décennies, on a volontairement créé des pneumothorax pour traiter la tuberculose. Les patients vivaient chez eux avec leur pneumothorax et venaient régulièrement à l'hôpital se faire insuffler de l'air, car la tendance naturelle d'un pneumothorax est de se résorber spontanément. Il y a 50 ans, bien après la période du traitement de la tuberculose par « pneumothorax thérapeutique », Stradling et Poole ont montré que l'on pouvait traiter parfaitement en ambulatoire, de façon non agressive, des PSP, même complets, pour autant que le pneumothorax n'interférait pas avec les activités des patients [67].

L'alternative ambulatoire à cette attitude purement attentiste consiste à évacuer l'air manuellement ou au moyen d'un minidrain + valve unidirectionnelle [42,67,82,84,90,96]. Cette stratégie ambulatoire a concerné jusqu'à 98 % dans une série de 99 patients, avec un taux de succès de 94 % [82]. La revue systématique de Brims et Maskell, étudiant l'usage de la valve unidirectionnelle dans une stratégie exclusivement ambulatoire, a montré un taux de succès de 77,9 % et un taux de récurrence de 11 à 24 % [94]. Elle réduit significativement les coûts de la prise en charge globale [42,90], sans augmenter la fréquence de complications.

5. Proposition d'algorithme de prise en charge (figure 3)

Figure 3 - Proposition d'algorithme de prise en charge d'un premier épisode de PSP



Rv, revu ; Rx, radiographique.

Le traitement du PSP persistant et/ou récidivant

Face à un pneumothorax persistant ou récidivant on propose en règle générale la réalisation d'une symphyse définitive des feuillets pleuraux (pleurodèse) et, pour certains, de compléter cette symphyse par le traitement de la composante parenchymateuse du pneumothorax. Ces traitements « définitifs » sont aussi proposés dans les rares cas de PSP accompagné d'hémithorax, dans les PSP bilatéraux ou quand un premier épisode de PSP survient chez des professions à risque (personnel navigant ou plongeurs) [7,52,56,97-99]. Dans tous les cas, le patient doit être impliqué dans la décision, après discussion des différentes options [9,100].

1. Qu'est-ce qu'un pneumothorax persistant ?

La définition du caractère « persistant » du pneumothorax dépend du traitement de première intention que l'on a entrepris. Si on a choisi l'observation simple, on sait qu'il faut en général 8 semaines pour qu'un pneumothorax complet se réexpande. Si on a retenu l'option aspiration manuelle, on définit le pneumothorax « persistant » par la persistance d'une aspiration d'air possible après avoir évacué 2,5 L ou par l'absence de réexpansion du pneumothorax sur la radiographie de contrôle après une première tentative d'aspiration manuelle. Enfin, quand on a mis en place un drain pleural, et c'est la définition la plus souvent retenue [7,52], on définit le pneumothorax « persistant » par la persistance d'un bullage au-delà de 3 à 5 jours.

2. Qu'est-ce qu'un pneumothorax récidivant ?

La BTS définit la récurrence par un deuxième pneumothorax ipsilatéral [52] alors que dans ses recommandations récentes l'ERS ne fait pas cette distinction et considère comme récurrence tout épisode de pneumothorax qui survient après un premier épisode, ipsi- ou contralatéral [7].

3. Place du traitement définitif dès le premier épisode

Le taux élevé de récurrence après un premier épisode de pneumothorax est l'argument principal de ceux qui proposent une attitude invasive dès le premier épisode. Des chiffres de 17 à 54 % de récurrence sont habituellement avancés [37,41,42,101,102] sans qu'à de rares exceptions près [41,67] un taux de récurrence actuariel ait été calculé. Deux essais randomisés contrôlés ont comparé le drainage au traitement définitif dès le premier épisode de PSP. L'un faisant appel à la pleuroctomie associée à la prise en charge de la composante parenchymateuse du pneumothorax, a montré une supériorité statistiquement significative par rapport au drainage conventionnel en termes de taux de récurrence (0 % *versus* 40,9 %) et de durée d'hospitalisation ($3,9 \pm 0,9$ *versus* $6,6 \pm 1,6$ jours) [103]. Même si cette supériorité va dans le même sens qu'une revue systématique publiée antérieurement [104], cette étude pose un sérieux problème méthodologique car elle annonce un « double aveugle » alors qu'il n'en était rien, les patients et les soignants ayant eu parfaitement connaissance du bras thérapeutique. Le deuxième, menée en Corée du Sud, a montré un avantage statistiquement significatif de l'injection intrapleurale de minocycline par rapport au drainage simple, en termes de récurrence à un an (29 % *versus* 49 %). Cependant, le taux de récurrence dans le groupe « drainage simple » étant nettement plus élevé que ce qui est habituellement rapporté dans la littérature, ce travail n'a pas été retenu comme suffisant par l'ERS pour recommander le principe d'une symphyse à la minocycline [7].

4. Techniques invasives de pleurodèse

4.1. Abord thoracique: vidéothoroscopie chirurgicale ou thoracotomie ?

Une analyse des essais randomisés et un essai plus récent ont montré une réduction des doses d'analgésiques et de la durée d'hospitalisation, et un score de satisfaction des patients plus élevé en faveur de la vidéothoroscopie chirurgicale [105,106]. Une revue systématique (de 29 études dont 4 randomisées) montrait une augmentation du risque de récurrence d'un facteur 4,7 pour la vidéothoroscopie chirurgicale, et des performances comparables en termes de: pertes sanguines peropératoires, douleur postopératoire, complications postopératoires et perturbation de la fonction respiratoire [107]. Les taux de récurrence des études non comparatives se rapprochent de cette revue: 5,4% pour la vidéothoroscopie chirurgicale et 1,1% pour la thoracotomie. En revanche, la vidéothoroscopie chirurgicale comporte des taux de morbidité et mortalité inférieurs, ainsi qu'un taux de complications < 4% [7,35,52,107,108]. Les études cout/bénéfice nord-américaines ou européennes suggèrent un bénéfice en faveur de la vidéothoroscopie chirurgicale mais ne sont pas transposables en France [38,109]. Des procédures moins invasives de vidéothoroscopie chirurgicale ont été récemment expérimentées (voie d'abord unique ou double, ligature manuelle de bulles par abord intra- et extrapleurale, anesthésie péridurale) et permettent de réduire les durées de drainage et d'hospitalisation, la douleur à la sortie, les paresthésies postopératoires et le cout du matériel; tout en améliorant la satisfaction des patients [110-114]. La prise en compte de toutes ces données peut expliquer que la vidéothoroscopie chirurgicale reste la méthode de référence.

Aucune étude randomisée n'a comparé à ce jour les pleurodèses obtenues par thoracoscopie médicale (poudrage au talc sous thoracoscopie) *versus* chirurgicale. Une telle étude est en cours à Marseille, dont les résultats seront bientôt disponibles.

4.2. Quelle méthode de symphyse pleurale ?

Malgré la supériorité historique de la pleurectomie pariétale sur l'abrasion pleurale (récidives 0,4-2% *versus* 2,6-3,6%) [115-117], les études récentes tendent à montrer une efficacité semblable, moins de complications, une meilleure tolérance et un risque physiologique et opératoire ultérieur moindre, au profit de l'abrasion et des méthodes moins invasives; les auteurs préconisent de ne plus réaliser de pleurectomie en première intention [118-120]. La pleurodèse chimique (surtout au talc) apparaît comparable à la mécanique en complément du traitement du parenchyme, pour un temps opératoire, une durée d'hospitalisation et des complications moindres [121-123]. L'association de techniques de pleurodèse mécanique (pleurectomie, abrasion) et chimique (tétracycline, talc) diminue significativement le risque de récurrence à long terme par rapport aux techniques mécaniques seules [101,124]. L'innocuité du talc (à la dose de 2 g) a été étudiée dans une cohorte prospective multicentrique (Europe + Afrique du Sud) de 418 patients: aucun cas de syndrome de détresse respiratoire aiguë n'a été observé, il y a eu 1,7% de complications, toutes mineures [125].

4.3. Traitement du parenchyme

Les différentes techniques utilisées lors de la vidéothoroscopie chirurgicale ou d'une thoracotomie n'ont pas fait l'objet d'études comparatives randomisées. Actuellement, la résection apicale + agrafage reste la technique de référence.

Le *tableau III* montre l'efficacité des différentes modalités de traitement définitif de PSP [7].

5. Traitement définitif non invasif

La pleurodèse médicale par instillation de talc *via* le drain a également été expérimentée chez 226 patients présentant une première récurrence (79,2 %) ou un échec (20,8 %) de pneumothorax spontané : le taux de succès était de 93,3 %, le taux de récurrence 9,1 % et aucune complication sévère n'a été observée. Les complications mineures étaient fréquentes (53,5 % de douleur, 25,2 % de fièvre, 29,6 % de toux et 3 empyèmes d'évolution favorable sous antibiotiques) [126].

Tableau III - Taux de récurrence après traitement définitif du PSP

Étude	Année	Effectif	Durée moyenne de suivi (mois)	Taux de récurrence (%)
Saupoudrage de talc sous thoroscopie				
Tschopp <i>et al.</i> [127]	2002	59	60	5
Boutin <i>et al.</i> [128]	1991	505	42	7
El Khawand <i>et al.</i> [129]	1995	142	39	6
Gyorik <i>et al.</i> [130]	2007	56	118	5
Saupoudrage de talc + traitement chirurgical du parenchyme sous vidéothoroscopie chirurgicale				
Cardillo <i>et al.</i> [131]	2006	861	52,5	1,73
Cardillo <i>et al.</i> [132]	2016	1 415	102	1,9
Abrasion pleurale mécanique				
Gossot <i>et al.</i> [116]	2004	111	36,5	3,6
Lang-Lazdunski <i>et al.</i> [117]	2003	167	93	3
Pleurectomie				
Ayed [115]	2003	100	48	2

Les grandes questions non résolues

Bien qu'il s'agisse d'une pathologie extrêmement fréquente, la physiopathologie et la prise en charge du PSP font encore débat sur un certain nombre de questions.

1. Questions en suspens concernant la physiopathologie

Le mécanisme précis qui conduit à l'irruption massive de près de 2,5 L d'air dans la cavité pleurale quand un homme jeune, fumeur, qui était tranquillement en train de regarder la télévision, fait un PSP complet, reste mystérieux. L'hypothèse de la « bulle qui éclate » est contredite par les faits. Elle a le mérite d'être marquante pour l'esprit et aidante quand il s'agit de guider le patient vers le sevrage tabagique.

L'hypothèse de la porosité pleurale, si elle permet de comprendre pourquoi on constate des PSP sans bulles ni blebs perforés, rend difficilement compte du caractère souvent soudain et complet des PSP. Le modèle expérimental de PSP reste à inventer.

2. Questions en suspens concernant la prise en charge des PSP

Nous avons été élevés et avons enseigné aux plus jeunes qu'un poumon recollé c'est mieux qu'un poumon décollé, et ceci, le plus rapidement possible. Il s'agissait de démontrer qu'on était efficace, tout de suite (gros drain + grosse aspiration) et on justifiait cela par le fait que l'apposition des feuillets pleuraux viscéraux et pariétaux l'un contre l'autre facilitait la pleurodèse et/ou la fermeture de la fuite. Ceci est une croyance qui s'oppose à la croyance inverse, celle de Stradling et Poole [67] qui il y a 50 ans plaidaient pour une médecine douce, laissant le poumon collabé pour faciliter la cicatrisation de la fuite. Cette vieille idée est revenue sur le devant de la scène par le biais d'un essai clinique australasien randomisé comparant le drainage thoracique à une attitude conservatrice « *do nothing* » chez des patients porteurs d'un PSP, même complet, bien toléré cliniquement dont le recrutement doit se terminer début 2017 et le critère de mesure principal est le taux de réexpansion complète à 8 semaines [133]. Le résultat de cette étude, qui devrait être disponible courant 2018, permettra de passer de la croyance à la médecine fondée sur les preuves.

La prise en charge ambulatoire des PSP mais aussi de certains PSS est rendue possible par les systèmes de drainage portable. Les études montrant la faisabilité de la prise en charge ambulatoire et ses économies potentielles sont maintenant nombreuses. La généralisation d'une telle attitude nécessitera de vaincre bien des réticences, réticences qui ajoutées au caractère « non innovant » du concept font qu'une étude randomisée contrôlée multicentrique destinée à comparer la prise en charge ambulatoire des PSP avec minidrain portable à sa prise en charge hospitalière est particulièrement difficile à mettre en place.

La nécessité d'une bullectomie associée à la pleurodèse est débattue. Seule une étude randomisée contrôlée comparant pleurodèse et pleurodèse + bullectomie permettra de répondre définitivement à cette question.

Conclusion

Le PSP est une pathologie fréquente, banale, mais dont certains aspects restent étonnamment méconnus. Les deux dernières décennies, grâce à l'accès facile au scanner thoracique, ont été marquées par l'identification de pneumothorax qui ne sont en réalité pas vraiment primaires et dont la prise en charge mérite probablement d'être plus agressive (pleurodèse précoce).

En termes de prise en charge, l'agressivité (gros drain + aspiration murale) n'a plus sa place et tend à être remplacée par des alternatives moins invasives (exsufflation, minidrains portables sur valve antiretour, voire simple surveillance).

Enfin, en termes de prévention des récurrences, s'il est clair que l'élément déterminant est l'arrêt du tabac, associé à une pleurodèse, les modalités de la pleurodèse (talc seul *versus* talc + geste pleural) et surtout l'utilité de la « bullectomie » font encore débat.

Bibliographie

1. Laennec RTH. *Traité du diagnostic des maladies des poumons et du cœur*. Tome second, Paris: Brosson et Chaudé, éd. 1819.
2. Kjaergaard H. Spontaneous pneumothorax in the apparently healthy. *Acta Med Scand Suppl* 1932; 43: 1-159.
3. Takahashi M, Fukuoka J, Nitta N, Takazakura R, Nagatani Y, Murakami Y, *et al*. Imaging of pulmonary emphysema: a pictorial review. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2008; 3: 193-204.
4. Karimi R, Tomling G, Forsslund H, Mikko M, Wheelock A, Nyrén S, *et al*. Lung density on high resolution computer tomography (HRCT) reflects degree of inflammation in smokers. *Respir Res* 2014; 15: 23.
5. Donahue DM, Wright CD, Viale G, Mathisen DJ. Resection of pulmonary blebs and pleurodesis for spontaneous pneumothorax. *Chest* 1993; 104: 1767-9.
6. Lesur O, Delorme N, Fromaget JM, Bernadac P, Polu JM. Computed tomography in the etiologic assessment of idiopathic spontaneous pneumothorax. *Chest* 1990; 98: 341-7.
7. Tschopp JM, Bintlcliffe O, Astoul P, Canalis E, Driesen P, Janssen J, *et al*. ERS task force statement: diagnosis and treatment of primary spontaneous pneumothorax. *Eur Respir J* 2015; 46: 321-35.
8. Bintlcliffe OJ, Hallifax RJ, Edey A, Feller-Kopman D, Lee YC, Marquette CH, *et al*. Spontaneous pneumothorax: time to rethink management? *Lancet Respir Med* 2015; 3: 578-88.
9. Henry M, Arnold T, Harvey J; Pleural Diseases Group, Standards of Care Committee, British Thoracic Society. BTS guidelines for the management of spontaneous pneumothorax. *Thorax* 2003; 58(suppl2): S39-52.
10. Chee CB, Abisheganaden J, Yeo JK, Lee P, Huan PY, Poh SC, *et al*. Persistent air-leak in spontaneous pneumothorax -- Clinical course and outcome. *Respir Med* 1998; 92: 757-61.
11. Hurewitz AN, Sidhu U, Bergofsky EH, Leff B, Averbuch I, Grimson R, *et al*. Cardiovascular and respiratory consequences of tension pneumothorax. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1986; 22: 545-9.
12. Maunder RJ, Pierson DJ, Hudson LD. Subcutaneous and mediastinal emphysema. Pathophysiology, diagnosis and management. *Arch Intern Med* 1984; 144: 1447-53.
13. Fraser RG, Paré JA. *Diagnosis of diseases of the chest*, 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders, 1990: 683-7 et 2741-9.
14. Gilmartin JJ, Wright AJ, Gibson GJ. Effects of pneumothorax or pleural effusion on pulmonary function. *Thorax* 1985; 40: 60-5.
15. Sahn SA, Hefner JE. Spontaneous pneumothorax. *N Engl J Med* 2000; 342: 868-74.
16. Celli BR. Clinical and physiologic evaluation of respiratory muscles function. *Clin Chest Med* 1989; 10: 199-214.
17. Collins CD, Lopez A, Mathie A, Wood V, Jackson JE, Roddie ME. Quantification of pneumothorax size on chest radiographs using interpleural distances: regression analysis based on volume measurements from helical CT. *Am J Roentgenol* 1995; 165: 1127-30.
18. Northfield TC. Oxygen therapy for spontaneous pneumothorax. *Br Med J* 1971; 4: 86-8.
19. Ohata M, Suzuki H. Pathogenesis of spontaneous pneumothorax. With special reference to the ultrastructure of emphysematous bullae. *Chest* 1980; 77: 771-6.
20. Masshof W, Höfer W. [Pathology of so-called idiopathic spontaneous pneumothorax]. *Dtsch Med Wochenschr* 1973; 98: 801-5.
21. Randomsky J, Becker HP, Hartel W. [Pleural porosity in idiopathic spontaneous pneumothorax]. *Pneumologie* 1989; 43: 250-3.
22. Noppen M, Dekeukeleire T, Hanon S, Stratakos G, Amjadi K, Madsen P, *et al*. Fluorescein-enhanced autofluorescence thoracoscopy in patients with primary spontaneous pneumothorax and normal subjects. *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 174: 26-30.
23. Hatz RA, Kaps MF, Meimarakis G, Loehe F, Müller C, Fürst H. Long-term results after video-assisted thoracoscopic surgery for first-time and recurrent spontaneous pneumothorax. *Ann Thorac Surg* 2000; 70: 253-7.
24. Nakanishi K. Long-term effect of thoracoscopic stapled bullectomy alone for preventing recurrence of primary spontaneous pneumothorax. *Surg Today* 2009; 39: 553-7.
25. Horio H, Nomori H, Kobayashi R, Naruke T, Suemasu K. Impact of additional pleurodesis in video-assisted thoracoscopic bullectomy for primary spontaneous pneumothorax. *Surg Endosc* 2002; 16: 630-4.
26. Loubani M, Lynch V. Video assisted thoracoscopic bullectomy and acromycin pleurodesis: an effective treatment for spontaneous pneumothorax. *Respir Med* 2000; 94: 888-90.
27. Haynes D, Baumann MH. Pleural controversy: aetiology of pneumothorax. *Respirology* 2011; 16: 604-10.
28. Sihoe AD, Yim AP, Lee TW, Wan S, Yuen EH, Wan Y, *et al*. Can CT scanning be used to select patients with unilateral primary spontaneous pneumothorax for bilateral surgery? *Chest* 2000; 118: 380-3.
29. Macklin MT, Macklin CC. Malignant interstitial emphysema of the lungs and mediastinum as an important occult complication in many respiratory diseases and other conditions: an interpretation

- of the clinical literature in the light of laboratory experiment. *Medicine* 1944; 23: 281-352.
30. Cheng YL, Huang TW, Lin CK, Lee SC, Tzao C, Chen JC, *et al.* The impact of smoking in primary spontaneous pneumothorax. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2009; 138: 192-5.
 31. Moon MH, Sa YJ, Cho KD, Jo KH, Lee SH, Sim SB. Thoracic air-leak syndromes in hematopoietic stem cell transplant recipients with graft-versus-host disease: a possible sign for poor response to treatment and poor prognosis. *J Korean Med Sci* 2010; 25: 658-62.
 32. Shapiro BA, Harrison RA, Cane RD, Templin R. *Les gaz du sang. Applications cliniques*, 4^e édition. Paris: Frison-Roche, 1992: 395.
 33. Bense L, Eklund G, Wiman LG. Smoking and the increased risk of contracting spontaneous pneumothorax. *Chest* 1987; 92: 1009-12.
 34. Gupta D, Hansell A, Nichols T, Duong T, Avres JG, Strachan D. Epidemiology of pneumothorax in England. *Thorax* 2000; 55: 666-71.
 35. Baumann MH, Strange C, Heffner JE, Light R, Kirby TJ, Klein J, *et al.* Management of spontaneous pneumothorax: an American College of Chest Physicians Delphi consensus statement. *Chest* 2001; 119: 590-602.
 36. Gill A. Cannabis, pneumothorax and lung bullae. *J R Soc Med* 2006; 99: 169-70.
 37. Sadikot RT, Greene T, Meadows K, Arnold AG. Recurrence of primary spontaneous pneumothorax. *Thorax* 1997; 52: 805-9.
 38. Alifano M, Forti Parri SN, Bonfanti B, Arab WA, Passini A, Boaron M, *et al.* Atmospheric pressure influences the risk of pneumothorax: beware of the storm! *Chest* 2007; 131: 1877-82.
 39. Bertolacini L, Alemanno L, Rocco G, Cassardo C. Air pollution, weather variations and primary spontaneous pneumothorax. *J Thorac Dis* 2010; 2: 9-15.
 40. Birrer RB, Calderon J. Pneumothorax, pneumomediastinum, and pneumopericardium following Valsalva's maneuver during marijuana smoking. *NY State J Med* 1984; 84: 619-20.
 41. Marquette CH, Marx A, Leroy S, Vaniet F, Ramon P, Caussade S, *et al.* Simplified stepwise management of primary spontaneous pneumothorax: a pilot study. *Eur Respir J* 2006; 27: 470-6.
 42. Massongo M, Leroy S, Scherpereel A, Vaniet F, Dhaluin X, Chahine B, *et al.* Outpatient management of primary spontaneous pneumothorax: a prospective study. *Eur Respir J* 2014; 43: 582-90.
 43. Bense L, Wiman LG, Hedenstierna G. Onset of symptoms in spontaneous pneumothorax: correlations to physical activity. *Eur J Respir Dis* 1987; 71: 181-6.
 44. Graham ANJ, Cosgrove AP, Gibbons JRP, McGuigan JA. Randomised clinical trial of chest drainage systems. *Thorax* 1992; 47: 461-2.
 45. Ren HZ, Zhu CC, Yang C, Chen SL, Xie J, Hou YY, *et al.* Mutation analysis of the FLCN gene in Chinese patients with sporadic and familial isolated primary spontaneous pneumothorax. *Clin Genet* 2008; 74: 178-83.
 46. Bass HN, LaGrave D, Mardach R, Cederbaum SD, Fuster CD, Chetty M. Spontaneous pneumothorax in association with pyridoxine-responsive homocystinuria. *J Inher Metab Dis* 1997; 20: 831-2.
 47. Maeda A, Ishioka S, Yoshihara M, Mihara M, Shigenobu T, Nakamura S. Primary spontaneous pneumothorax detected during a medical checkup. *Chest* 1999; 116: 847-8.
 48. Schramel FM, Wagenaar M, Sutedja TG, Golding RP, Postmus PE. [Diagnosis of pneumothorax not improved by additional roentgen pictures of the thorax in the expiration phase]. *Ned Tijdschr Geneesk* 1995; 139: 131-3.
 49. Greene R, McCloud TC, Stark P. Pneumothorax. *Semin Roentgenol* 1977; 12: 313-25.
 50. Bradley M, Williams C, Walshaw MJ. The value of routine expiratory chest films in the diagnosis of pneumothorax. *Arch Emerg Med* 1991; 8: 115-6.
 51. Kim J, Kim K, Shim YM, Chang WI, Park KH, Jun TG, *et al.* Video-assisted thoracic surgery as a primary therapy for primary spontaneous pneumothorax: decision making by the guideline of high-resolution computed tomography. *Surg Endosc* 1998; 12: 1290-3.
 52. MacDuff A, Arnold A, Harvey J. Management of spontaneous pneumothorax: British Thoracic Society pleural disease guideline 2010. *Thorax* 2010; 65(suppl2): ii18-31.
 53. Chan SS. Current opinions and practices in the treatment of spontaneous pneumothorax. *J Acad Emerg Med* 2000; 17: 165-9.
 54. Heffner JE, Huggins JT. Management of secondary spontaneous pneumothorax: there's confusion in the air. *Chest* 2004; 125: 1190-2.
 55. Light RW, O'Hara VS, Moritz TE, McElhinney AJ, Butz R, Haakenson CM, *et al.* Intrapleural tetracycline for the prevention of recurrent spontaneous pneumothorax. Results of a Department of Veterans Affairs cooperative study. *JAMA* 1990; 264: 2224-30.
 56. Dulchavsky SA, Schwarz KL, Kirkpatrick AW, Billica RD, Williams DR, Diebel LN, *et al.* Prospective evaluation of thoracic ultrasound in the detection of pneumothorax. *J Trauma* 2001; 50: 201-5.
 57. Noppen ML. CT scanning and bilateral surgery for unilateral pneumothorax? *Chest* 2001; 119: 1293-4.
 58. Ouanes-Besbes L, Golli M, Knani J, Dachraoui F, Nciri N, El Atrous S, *et al.* Prediction of recurrent spontaneous pneumothorax: CT scan findings versus management features. *Respir Med* 2007; 101: 230-36.
 59. Casali C, Stefani A, Ligabue G, Natali P, Aramini B, Torricelli P, *et al.* Role of blebs and bullae detected by high-resolution computed tomography and recurrent spontaneous pneumothorax. *Ann Thorac Surg* 2013; 95: 249-55.
 60. Lichtenstein DA, Mezière G, Lascols N, Biderman P, Courret JP, Gepner A, *et al.* Ultrasound diagnosis of occult pneumothorax. *Crit Care Med* 2005; 33: 1231-8.
 61. Galbois A, Ait-Oufella H, Baudel JL, Kofman T, Bottero J, Viennot S, *et al.* Pleural ultrasound compared

- with chest radiographic detection of pneumothorax resolution after drainage. *Chest* 2010; 138: 648-55.
62. Light RW. Manual aspiration. The preferred method for managing primary spontaneous pneumothorax? *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 165: 1202-3.
 63. De Leyn P, Lisonde M, Ninane V, Noppen M, Slabbynck H, Van Meerhaeghe A, *et al.* Belgian Society of Pneumology. Guidelines on the management of spontaneous pneumothorax. *Acta Chir Belg* 2005; 105: 265-7.
 64. Kelly AM, Druda D. Comparison of size classification of primary spontaneous pneumothorax by three international guidelines: a case for international consensus? *Respir Med* 2008; 102: 1830-2.
 65. Ponn RB, Silverman HJ, Federico JA. Outpatient chest tube management. *Ann Thorac Surg* 1997; 64: 1437-40.
 66. Kelly AM, Loy J, Tsang AY, Graham CA. Estimating the rate of re-expansion of spontaneous by a formula derived from computed tomography volumetric studies. *Emerg Med J* 2006; 23(10): 780-2.
 67. Stradling P, Poole G. Conservative management of spontaneous pneumothorax. *Thorax* 1966; 21: 145-9.
 68. Repanshek ZD, Ufberg JW, Vilke GM, Chan TC, Harrigan RA. Alternative treatments of pneumothorax. *J Emerg Med* 2013; 44(2): 457-66.
 69. Ball CG, Wyrzykowski AD, Kirkpatrick AW, Dente CJ, Nicholas JM, Salomone JP, *et al.* Thoracic needle decompression for tension pneumothorax: clinical correlation with catheter length. *Can J Surg* 2010; 53(3): 184-8.
 70. Carter TE, Mortensen CD, Kaistha S, Conrad C, Dogbey G. Needle decompression in Appalachia, do obese patients need longer needles? *West J Emerg Med* 2013; 14(6): 650-2.
 71. Chang SJ, Ross SW, Kiefer DJ, Anderson WE, Rogers AT, Sing RF, *et al.* Evaluation of 8.0-cm at the fourth anterior axillary line for needle chest decompression of tension pneumothorax. *J Trauma Acute Care Surg* 2014; 76(4): 1029-34.
 72. Clemency BM, Tanski CT, Rosenberg M, May PR, Consiglio JD, Lindstrom HA. Sufficient catheter length for pneumothorax needle decompression: a meta-analysis. *Prehosp Disaster Med* 2015; 30(3): 24-53.
 73. Andrivet P, Djedaini K, Teboul JL, Brochard L, Dreyfuss D. Spontaneous pneumothorax. Comparison of thoracic drainage vs immediate or delayed needle aspiration. *Chest* 1995; 108(2): 335-9.
 74. Ayed AK, Chandrasekaran C, Sukumar M. Aspiration versus tube drainage in primary spontaneous pneumothorax: a randomised study. *Eur Respir J* 2006; 27: 477-82.
 75. Harvey J, Prescott RJ. Simple aspiration vs intercostal tube drainage for spontaneous pneumothorax in patients with normal lung. British Thoracic Society Research Committee. *BMJ* 1994; 309: 1338-9.
 76. Noppen M, Alexander P, Driesen P, Stabbynck H, Verstraeten A. Manual aspiration versus chest tube drainage in first episodes of primary spontaneous pneumothorax: a multicenter, prospective, randomized pilot study. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 165: 1240-4.
 77. Parlak M, Uil SM, Van De Berg JW. A prospective, randomised trial of pneumothorax therapy/ manual aspiration versus conventional chest tube drainage. *Respir Med* 2012; 106(11): 1600-5.
 78. Aguinagalde B, Zabaleta J, Fuentes M, Bazterargui N, Hernández C, Izquierdo JM, *et al.* Percutaneous aspiration versus tube drainage for spontaneous pneumothorax: systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg* 2010; 37(5): 1129-35.
 79. Nishiuma T, Ohnishi H, Katsurada N, Yamamoto S, Yoshimura S, Kinami S. Evaluation of simple aspiration therapy in the initial treatment for primary spontaneous pneumothorax. *Intern Med* 2012; 51(11): 1329-33.
 80. Cho S, Lee EB. Management of primary and secondary pneumothorax using a small-bore thoracic catheter. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2010; 11(2): 146-9.
 81. Hassani B, Foote J, Borgundvaag B. Outpatient management of primary spontaneous pneumothorax in the emergency department of a community hospital using a small-bore catheter and a Heimlich valve. *Acad Emerg Med* 2009; 16(6): 513-8.
 82. Karasaki T, Shintomi S, Nomura Y, Saito H, Yoshida Y. Outcomes of outpatient treatment for primary spontaneous pneumothorax using a small-bore portable thoracic drainage device. *Thorac Cardiovasc Surg* 2014; 62(6): 516-20.
 83. Lai S, Tee AKH. Outpatient treatment of primary spontaneous pneumothorax using a small-bore chest drain with a heimlich valve: the experience of a Singapore emergency department. *Eur J Emerg Med* 2012; 19(6): 400-4.
 84. Voisin F, Sohier L, Rochas Y, Kerjouan M, Ricordel C, Belleguic C, *et al.* Ambulatory management of large spontaneous pneumothorax with pigtail catheters. *Ann Emerg Med* 2014; 64(3): 222-8.
 85. Benton JJ, Benfield GF. Comparison of large and small-calibre tube drain for managing spontaneous pneumothoraces. *Respir Med* 2009; 103(10): 1436-40.
 86. Contou D, Razazi K, Katsahian S, Maitre B, Mekontso-Dessap A, Brun-Buisson C, *et al.* Small-bore catheter versus tube drainage for pneumothorax. *Am J Emerg Med* 2012; 30(8): 1407-13.
 87. Kuo HC, Lin YJ, Huang CF, Chien SJ, Lin IC, Lo MH, *et al.* Small-bore pigtail catheters for the treatment of primary spontaneous pneumothorax in young adolescents. *Emerg Med J* 2013; 30(3), e17.
 88. Iepson UW, Ringbaek T. Small-bore chest tube seem to perform better than larger tubes in treatment of spontaneous pneumothorax. *Dan Med J* 2013; 60(6): A4644.
 89. Ho KK, Ong MEH, Koh MS, Wong E, Raghuram J. A randomized controlled trial comparing minichest tube and needle aspiration in outpatient management of primary spontaneous pneumothorax. *Am J Emerg Med* 2011; 29(9): 1152-7.
 90. Paleari N, Menendez JB, Ansedé J, Pankl L, Morris B, Chimondeguy D. Treatment of primary spontaneous pneumothorax with thin catheter drainage

- associated with Heimlich valve: comparative analysis. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2014; 18, 562.
91. Tsai WK, Chen W, Lee JC, Cheng WE, Chen CH, Hsu WH, *et al.* Pigtail catheters vs large-bore chest tubes for management of secondary spontaneous pneumothoraces in adults. *Am J Emerg Med* 2006; 24(7): 795-800.
 92. Duchateau FX, Legrand JM, Verner L, Brady WJ. Commercial aircraft repatriation of patients with pneumothorax. *Air Med J* 2013; 32(4): 200-2.
 93. Shoenberger RA, Haefeli WE, Weiss P, Ritz RF. Timing of invasive procedures in therapy for primary and secondary spontaneous pneumothorax. *Arch Surg* 1991; 126(6): 764-6.
 94. Brims FJH, Maskell NA. Ambulatory treatment of pneumothorax: a systematic review of literature. *Thorax* 2013; 68(7): 664-9.
 95. Rothberg AD, Marks KH, Maisels MJ. Understanding the Pleurevac. *Pediatrics* 1981; 67(4), 482-4.
 96. Campisi P, Voitk AJ. Outpatient treatment of spontaneous pneumothorax in a community hospital using a Heimlich flutter valve: a case series. *J Emerg Med* 1997; 15(1): 115-9.
 97. Hopkirk JA, Pullen MJ, Fraser JR. Pleurodesis: the results of treatment for spontaneous pneumothorax in the Royal Air Force. *Aviat Space Environ Med* 1983; 54(2): 158-60.
 98. North JH. Thoracoscopic management of spontaneous pneumothorax allows prompt return to aviation duties. *Aviat Space Environ Med* 1994; 65(12): 1128-9.
 99. Voge VM, Anthracite R. Spontaneous pneumothorax in the USAF aircrew population: a retrospective study. *Aviat Space Environ Med* 1986; 57: 939-49.
 100. Waller DA, Forty J, Morritt GN. Video-assisted thoracoscopic surgery versus thoracotomy for spontaneous pneumothorax. *Ann Thorac Surg* 1994; 58: 372-6.
 101. Chen JS, Chan WK, Tsai KT, Hsu HH, Lin CY, Yuan A, *et al.* Simple aspiration and drainage and intrapleural minocycline pleurodesis versus simple aspiration and drainage for the initial treatment of primary spontaneous pneumothorax: an open-label, parallel-group, prospective, randomised, controlled trial. *Lancet* 2013; 381(9874): 1277-82.
 102. O'Rourke JP, Yee ES. Civilian spontaneous pneumothorax. Treatment options and long-term results. *Chest* 1989; 96: 1302-6.
 103. Al-Mourgi M, Alshehri F. Video-assisted thoracoscopic surgery for the treatment of first-time spontaneous pneumothorax versus conservative treatment. *Int J Health Sci* 2015; 9(4): 428-32.
 104. Chambers A, Sarci M. In patients with first-episode primary spontaneous pneumothorax is video-assisted surgery superior to tube thoracotomy alone in terms of time to resolution of pneumothorax and incidence of recurrence? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2009; 9(6): 1003-8.
 105. Foroulis CN, Anastasiadis K, Charokopos N, Antonitis P, Halvatzoulis HV, Karapanagiotidis GT, *et al.* A modified two-port thoracoscopic technique versus axillary minithoracotomy for the treatment of recurrent spontaneous pneumothorax: a prospective randomized study. *Surg Endosc*. 2012; 26(3): 607-14.
 106. Vohra HA, Adamson L, Weeden DF. Does video-assisted thoracoscopic pleuroctomy result in better outcome than open pleuroctomy for primary spontaneous pneumothorax? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2008; 7(4): 673-7.
 107. Bille A, Barker A, Maratos EC, Edmonds L, Lim E. Surgical access rather than method of pleurodesis (pleuroctomy or pleural abrasion) influences recurrence rates for pneumothorax surgery: systematic review and meta-analysis. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* 2012; 60(6): 321-5.
 108. Ramos-Izquierdo R, Moya J, Macia I, Rivas F, Ureña A, Rosado G, *et al.* Treatment of primary spontaneous pneumothorax by videothoracoscopic talc pleurodesis under local anesthesia: a review of 133 procedures. *Surg Endosc* 2010; 24(5): 984-7.
 109. Sakamoto K, Takei H, Nishii T, Maehara T, Omori T, Tajiri M, *et al.* Staple line coverage with absorbable mesh after thoracoscopic bullectomy for spontaneous pneumothorax. *Surg Endosc* 2004; 18: 478-81.
 110. Kang DK, Min HK, Jun HJ, Hwang YH, Kang M. Early outcome of single-port video-assisted thoracic surgery for primary spontaneous pneumothorax. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg* 2014; 47(4): 384-8.
 111. Li S, Cui F, Liu J, Xu X, Shao W, Yin W, *et al.* Nonintubated uniportal video-assisted thoracoscopic surgery for primary spontaneous pneumothorax. *Chin J Cancer Res* 2015; 27(2): 197-202.
 112. Mo A, Luo Y, Yang X, Mo S, Wu J, Wei Y. Low-cost biportal endoscopic surgery for primary spontaneous pneumothorax. *J Thorac Dis* 2015; 7(4): 704-10.
 113. Pompeo E, Tacconi F, Mineo D, Mineo TC. The role of awake video-assisted thoracoscopic surgery in spontaneous pneumothorax. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007; 133(3): 786-90.
 114. Yang HC, Cho S, Jheon S. Single-incision thoracoscopic surgery for primary spontaneous pneumothorax using the SILS port compared with conventional three-port surgery. *Surg Endosc* 2013; 27(1): 139-45.
 115. Ayed AK. Suction versus water seal after thoracoscopy for primary spontaneous pneumothorax: prospective randomised study. *Ann Thorac Surg* 2003; 75: 1593-6.
 116. Gossot D, Galetta D, Stern JB, Debrosse D, Calianro R, Girard P, *et al.* Results of thoracoscopic pleural abrasion for primary spontaneous pneumothorax. *Surg Endosc* 2004; 18: 466-71.
 117. Lang-Lazdunski L, Chapuis O, Bonnet PM, Pons F, Jancovici R. Videothoracoscopic bleb excision and pleural abrasion for the treatment of primary spontaneous pneumothorax: long-term results. *Ann Thorac Surg* 2003; 75: 960-5.
 118. Lee S, Kim HR, Cho S, Huh DM, Lee EB, Ryu KM, *et al.* Staple line coverage after bullectomy for primary spontaneous pneumothorax: a randomized trial. *Ann Thorac Surg* 2014; 98(6): 2005-11.

119. Ling ZG, Wu Y, Ming M, Cai S, Chen YQ. The effect of pleural abrasion on the treatment of primary spontaneous pneumothorax: a systematic review. *Plus One* 2015; 10(6): e012857.
120. Shaikhrezaï K, Thomson AJ, Parkin C, Stamenkovic S, Walker S. Video-assisted thoracoscopic surgery management of spontaneous pneumothorax--long term results. *Eur J Cardiothorac Surg* 2011; 40(1): 120-3.
121. Alayouti HD, Hasan TM, Alhadad ZA, Omar Barabba R. Mechanical versus chemical pleurodesis for management of primary spontaneous pneumothorax evaluated with thoracic echography. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2011; 13(5): 475-9.
122. Moreno-Merino S, Congregado M, Gallardo G, Jimenez-Merchan R, Trivino A, Cozar F, *et al.* Comparative study of talc poudrage versus pleural abrasion for the treatment of primary spontaneous pneumothorax. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2012; 15(1): 81-5.
123. Sepehripour AH, Nasir A, Shah R. Does mechanical pleurodesis result in better outcomes than chemical pleurodesis for recurrent primary spontaneous pneumothorax? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2012; 14(3): 307-11.
124. Zeybek A, Kalemci S, Gürünlü Alma O, Süzen A, Akgül M, Koç K. The effect of additional pleural procedures onto recurrence rates on the spontaneous pneumothorax surgery. *Iran Red Crescent Med J* 2013; 15(2): 136-41.
125. Bridevaux PO, Tschopp JM, Cardillo G, Marquette CH, Noppen M, Astoul P, *et al.* Short-term safety of thoracoscopic talc pleurodesis for recurrent primary spontaneous pneumothorax: a prospective European multicentre study. *Eur Respir J* 2011; 38(4): 770-3.
126. Ngo BT. Application of pleurodesis by talc through chest drainage tube in the treatment of complicated spontaneous pneumothorax. *Am J Resp Crit C Med* 2010; 181(1).
127. Tschopp JM, Boutin C, Astoul P, Janssen JP, Grandin S, Bolliger CT, *et al.*; ESMEVAT team (European Study on Medical Video-Assisted Thoracoscopy). Talcage by medical thoracoscopy for primary spontaneous pneumothorax is more cost-effective than drainage: a randomised study. *Eur Respir J* 2002; 20: 1003-9.
128. Boutin C, Viallat JR, Aelony Y. *Practical thoracoscopy*. Heidelberg, Springer, 1991.
129. El Khawand C, Marchandise FX, Mayne A, Jamart J, Francis C, Weynants P, *et al.* [Spontaneous pneumothorax. Results of pleural talc therapy using thoracoscopy]. *Rev Mal Respir* 1995; 12(3): 275-81.
130. Györik S, Erni S, Studler U, Hodek-Wuerz R, Tamm M, Chhajed PN. Long-term follow-up of thoracoscopic talc pleurodesis for primary spontaneous pneumothorax. *Eur Respir J* 2007; 29: 757-60.
131. Cardillo G, Carleo F, Giunti R, Carbone L, Mariotta S, Salvadori L, *et al.* Videothoracoscopic talc poudrage in primary spontaneous pneumothorax: a single-institution experience in 861 cases. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 131: 322-8.
132. Cardillo G, Bintcliffe OJ, Carleo F, Carbone L, Di Martino M, Kahan BC, *et al.* Primary spontaneous pneumothorax: a cohort study of VATS with talc poudrage. *Thorax* 2016; 71: 847-53.
133. <https://www.perkins.org.au/ccrem/research/>