

Intérêt de la phonopneumographie et de l'analyse acoustique spécialisée en kinésithérapie respiratoire

G. POSTIAUX (1), E. LENS (2), P. CHAPELLE (3), T. BOSSER (4).

(1) Kinésithérapeute, chargé de cours, (2) Chef du service de médecine interne, clinique Reine-Fabiola, Montignies-sur-Sambre (Belgique). (3) Professeur d'acoustique, Faculté Polytechnique, (4) Ingénieur, Faculté Polytechnique, Mons (Belgique).

Les auteurs décrivent une méthode d'objection et de quantification de l'auscultation pulmonaire par phono pneumographie et analyse spectrale.

A l'aide d'exemples, ils montrent l'intérêt de la phonopneumographie et de l'analyse spectrale des craquements pulmonaires guidant la kinésithérapie respiratoire de l'encombrement bronchique de manière quantifiable.

En présentant des techniques utiles de diagnostic et de contrôle du traitement, les auteurs insistent également sur l'apport didactique essentiel de ces méthodes nouvelles pour la formation à l'auscultation pulmonaire des étudiants en médecine et en kinésithérapie.

tion de la toilette bronchique relativement peu nombreux et discutés. Cependant, ainsi que nous l'avons par ailleurs montré (22), les techniques de désencombrement s'avèrent efficaces moyennant certaines réserves à propos du choix judicieux des manœuvres.

Reste le souci majeur qui doit animer tout thérapeute dans l'application de son art : quantifier les résultats.

Dans le cas précis de l'encombrement bronchique, l'auscultation nous a paru un excellent moyen d'observation. Encore fallait-il mesurer d'une manière instrumentale les bruits respiratoires trop souvent laissés à l'appréciation subjective de l'observateur. Notre groupe d'étude s'intéresse activement à cette question depuis quelques années et ce rapport fait état de résultats obtenus en kinésithérapie respiratoire à la lumière de quelques cas d'exemple.

Introduction

L'encombrement de l'arbre bronchique est un problème auquel chaque kinésithérapeute est journellement confronté, de la bronchite simple à l'insuffisance respiratoire majeure en passant par tous les stades intermédiaires d'obstruction par des sécrétions pathologiques.

Les techniques kinésithérapiques mises en œuvre sont variées mais les critères d'objectiva

Survol historique

Si l'auscultation médiate fut inventée par Laënnec en 1819 (12), les recherches sur l'enregistrement et l'analyse des bruits respiratoires ne suscitent l'intérêt que depuis quelques années. Lors de la publication de son traité, Laënnec révolutionnait la connaissance médicale des maladies des poumons et du cœur parce qu'il établissait les premières corrélations cliniques et anatomo-pathologiques précises. On peut considérer que l'auscultation constituait la première mise en évidence diagnostique instrumentale, le contrôle nécropsique étant la référence objective.

Travail réalisé dans le cadre du Groupe d'Étude Pluridisciplinaire Stéthacoustique, ASBL, Rue de Miaucourt, 43, 6180 Courcelles (Belgique).

Tirés à part: G. POSTIAUX, à l'adresse ci-dessus.

Néanmoins, les bruits respiratoires restaient livrés à la subjectivité de l'observateur puisqu'il n'était pas possible en 1819 d'exploiter les connaissances de la physique d'aujourd'hui. A défaut d'étalon acoustique, Laënnec choisit de comparer les bruits auscultatoires à des bruits et des sons familiers.

A la difficulté de «transmission» à ses confrères et élèves de ce type de nomenclature « musicale» s'ajouta la confusion née d'une traduction parfois peu fidèle de son traité en langue anglaise.

A ce propos, un premier pas fut accompli à la suite de la proposition de Robertson et Coope en 1957 (25) d'une nomenclature simplifiée de l'auscultation pulmonaire.

Cabot en 1925 (3) puis Hannon en 1929 (9) furent sans doute les premiers à opérer des mesures physiques sur la fréquence des bruits respiratoires normaux. Forgacs en 1967 (7) puis en 1978 (8), attirait l'attention sur l'importance de la fréquence hertzienne et de la situation des craquements dans la phase ventilatoire; nous verrons par la suite que la détermination de ces deux paramètres revêt, en effet, une importance considérable, tant sous l'angle du diagnostic médical que de la kinésithérapie.

Forgacs fut sans doute le *primum movens* des travaux d'analyse entrepris depuis lors par quelques chercheurs, notamment anglo-saxons et japonais.

Les craquements (anciens râles humides et muqueux), auxquels nous nous intéressons ici, ont fait l'objet d'approches analytiques encore peu nombreuses à ce jour. Ebina (5) et Mc Kusick (15) (1955) utilisèrent pour la première fois des spectrographes du son. Nath (19) observa la récurrence des craquements dans la phase respiratoire et leur corrélation avec certaines entités nosologiques. Yoganathan (27) décrit l'importance de la transformée rapide de Fourier dans des applications biomédicales. Murphy (17) se sert de l'analyse des ondes étalées pour l'étude des bruits respiratoires. C'est une étape très importante qui débouchera rapidement sur l'analyse fréquentielle, celle-ci dépassant en finesse et précision la phonopneumographie en mode amplitude-temps.

On continue encore cependant de parler de

« coarse crackles» et «fine crackles» sans toutefois pouvoir apporter de caractéristiques physiques précises à ces deux catégories (6). Kudoh (11) utilisa une méthode semblable de spectrographie. Mori(16), au moyen de l'analyse de Fourier des craquements, décrit un premier segment qu'il interprète comme correspondant à l'ouverture soudaine d'une voie aérienne et un deuxième segment, décroissant, correspondant aux qualités du résonnateur pulmonaire avoisinant.

Murphyen 1981 (18) parle des balbutiements des travaux sur les craquements et met l'accent sur la nécessaire interdisciplinarité de l'approche technologique que ces études nécessitent. Dès cette époque, notre groupe l'avait compris, associant dans ses travaux, médecins, ingénieurs et kinésithérapeutes.

Entre temps, Kraman (10) utilisait largement la phonopneumographie et l'analyse spectrale. Ploysongsang (20) étudie le mécanisme de production de craquements à bas volume pulmonaire chez des sujets normaux, suggérant que la présence de craquements n'est pas nécessairement liée à un phénomène pathologique, Thacker (26) proposant de n'en tenir compte qu'en ventilation de repos à volume courant.

Tout récemment, Dalmasso (4) a utilisé un système informatisé pour l'analyse temporelle et acoustique des craquements dans l'alvéolite fibrosante cryptogénique. Dans notre groupe, Lens (13) emploie la terminologie proto-, méso-, téléphasique, propose des paramètres cliniques précis (position-dépendance, kinésie-dépendance) contrôlés et objectivés par phonopneumographie et analyse spectrale. Il démontre ainsi la possibilité d'une détection précoce des craquements téléphasiques inspiratoires de haute fréquence dans les atteintes intersticielles, en exploitant le décubitus latéral; encore dans notre groupe, Bosser (1) et Chapelle (2) développent un programme informatique d'échantillonnage et d'analyse des craquements.

Depuis cette année, nous exploitons à visée didactique un programme audio-visuel résumant l'acquis de la stéthacoustique actuelle.

Les efforts qui seront vraisemblablement déployés dans le domaine, peu connu encore en Europe, de l'analyse fréquentielle, apporteront

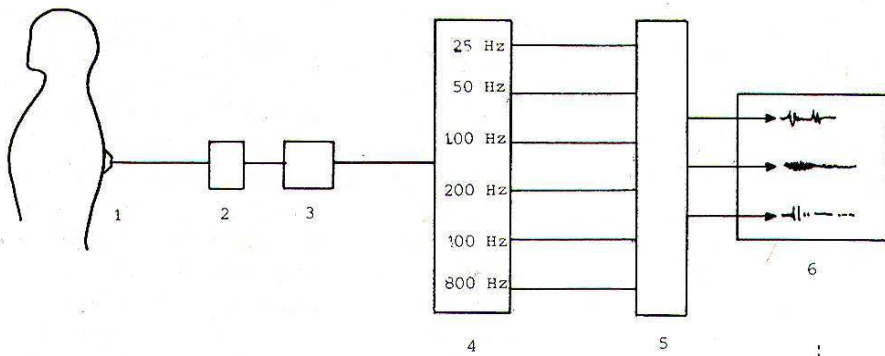


FIG. 1. - Schéma du phonopneumographe: 1 - capteur de vibration thoracique; 2 - pré-amplificateur; 3 - amplificateur des signaux; 4 - banc de filtres (25, 50, 100, 200, 400, 800 Hz); 5 - sélecteur de canal; 6 - inscripteur graphique.

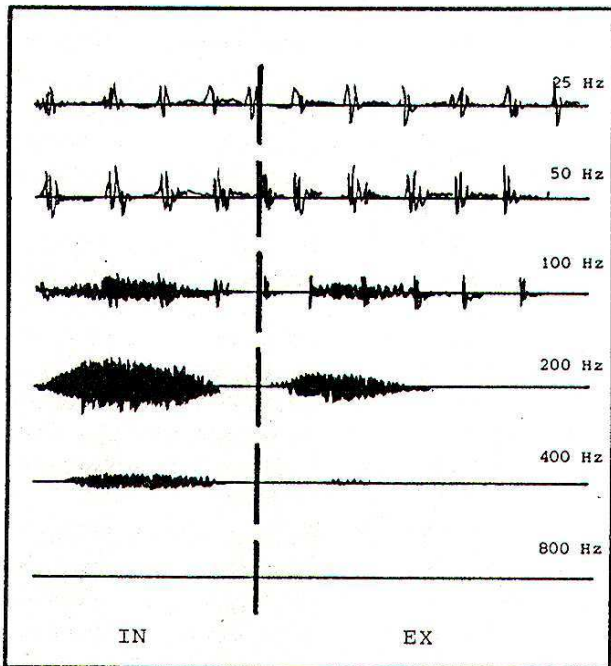


FIG. 2. - Phonopneumogramme d'un sujet normal. Enregistrement des bruits respiratoires normaux. La charge énergétique des bruits respiratoires normaux est importante au canal 200 Hz, fréquence thoracique naturelle du thorax. Par débordement d'intensité, présence d'une charge moindre aux canaux 100 et 400 Hz. Les filtres 25 et 50 montrent les bruits du cœur, de basse fréquence. Absence de signal au canal 800 Hz.

des informations de tout premier ordre sur la structure et la fonction du poumon local (14). En effet, ces études ont le grand mérite d'investiguer, à partir d'un signal de sortie localisé, l'appareil respiratoire sous-jacent, donc distal et très circonscrit.

Matériel

Dans notre pratique de la kinésithérapie respiratoire, nous utilisons trois modes d'analyse :

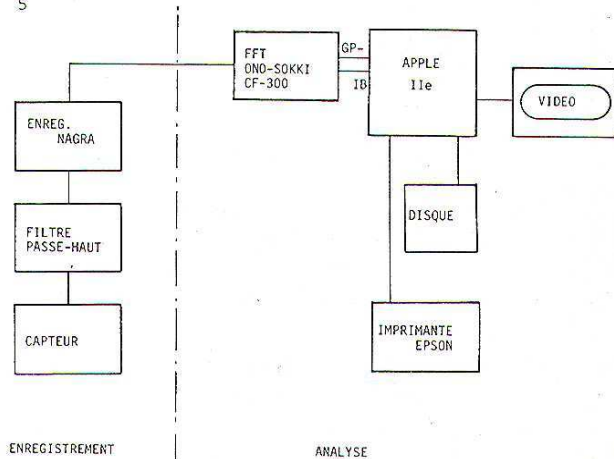


FIG. 3. - Configuration de l'unité de traitement pour échantillonnage et calcul de la Transformée de Fourier (d'après Bosser (1) et Chapelle (2)).

LA PHONOPNEUMOGRAPHIE (fig. 1)

Les signaux pulmonaires sont captés à la paroi thoracique au moyen d'un capteur de vibrations (Siemens Elema EMT 25C) et dirigés vers un banc de filtres différenciant en 6 bandes de fréquence bruits respiratoires normaux et adventices : 5 filtres passe-bandes à 25, 50, 100, 200, 400 Hz et un filtre passe-haut à partir de 750 Hz (que nous appelons canal à 800 Hz).

L'inscription graphique des signaux filtrés (fig. 2) est faite au moyen d'un inscripteur à projection d'encre dont les injecteurs sont rapprochés du papier afin d'éviter les déflexions inertielles (Siemens Mingograph 81). Les mesures sont effectuées à volume courant contrôlé par pneumotachygraphie.

L'ANALYSE SPECTRALE (fig. 3)

Les signaux sont captés à la paroi thoracique au moyen d'un capteur microphonique spécial fabriqué dans le laboratoire d'acoustique de la Faculté Polytechnique de Mons à partir d'un microphone à condensateur Brüel et Kjaër. Il satisfait à un certain nombre de propriétés

(courbe de réponse, absence de bruit de surface...). Les signaux sont enregistrés sur bande magnétique (enregistreur Nagra) et stockés.

L'unité de traitement différé des signaux se compose d'un analyseur de Fourier (ONO-SOKKI CF 300) qui échantillonne et calcule directement la Transformée de Fourier discrète par échantillonnage temporel puis fréquentiel et d'un support informatique qui systématise les opérations d'analyse. L'ordinateur (Apple II e) gère une imprimante graphique, une unité de disque et l'analyseur (1) (2).

COMPTAGE NUMÉRIQUE

Un comptage des craquements peut être facilement réalisé. Son objet est surtout de contrôler l'action des manœuvres de kinésithérapie d'une manière plus précise que le simple stéthoscope au moyen duquel il est difficile, voire impossible d'obtenir le comptage des accidents acoustiques groupés d'une durée chacun de quelques millisecondes! Le comptage numérique est donc inclus dans le programme de l'unité d'analyse décrite plus haut.

Définitions

ÉTAGES ANATOMIQUES DU TUBE AXIAL RESPIRATOIRE

Nous avons pour habitude de considérer l'encombrement bronchique suivant le niveau concerné de l'arbre aérien.

Quoiqu'il soit difficile de définir exactement le phénomène excitateur des bruits adventices, les connaissances actuelles sur leur genèse autorisent une certaine schématisation fort utile, non seulement, pour la clarté de l'exposé mais aussi sur le terrain lorsqu'il s'agit de faire le choix de la bonne technique de traitement.

Ces techniques sont, en effet, en rapport étroit avec la qualité des signaux perçus lors de l'auscultation et confirmés par la phonopneumographie. Nous avons décrit cette méthode précédemment (21).

Trois limites anatomiques sont donc tracées:

- 1) l'arbre aérien proximal, constitué des grosses voies aériennes, soient trachée, bronches souches et ainsi de suite jusqu'aux petites bronches;
- 2) l'arbre aérifère distal, composé essentiellement des petites voies aériennes;

3) les espaces aériens périphériques ou secteur des échanges constitué des canaux et sacs alvéolaires.

LES CRAQUEMENTS PULMONAIRES

Les bruits respiratoires adventices comprennent les craquements et les sibillances.

Les craquements dont il sera question ici sont définis suivant la nouvelle terminologie recommandée par l'**American Thoracic Society** comme des bruits brefs, explosifs et discontinus.

Trois hypothèses sur leur genèse prévalent actuellement (nous excluons les craquements pleuraux, non spécifiquement pulmonaires) :

- 1) le « bullage » de l'air au travers des sécrétions bronchiques pathologiques;
- 2) l'ouverture soudaine d'un territoire entraînant une égalisation rapide de pression d'un territoire vers un autre, préalablement séparés par une voie aérienne fermée;
- 3) la mise sous tension soudaine d'un secteur terminal, en quelque sorte un claquement d'ouverture.

Ces craquements peuvent être caractérisés selon une analyse acoustique précise, par leur fréquence hertzienne à 200, 400 et 800 Hz), leur situation dans la phase respiratoire (holo-, proto-, méso- ou téléphasique), leur position dépendance, leur kinésie-dépendance et leur nombre suivant la terminologie et les paramètres proposés par Lens (13).

Dans cet article, nous envisageons seulement les trois paramètres: fréquence, situation et nombre.

Résultats

Nos techniques de kinésithérapie sont actives, basées sur la toux, le hémage, les expirations prolongées, désignées sous l'abréviation FET par" les angrais (24). Nous n'envisageons pas ici les effets des techniques passives, telles les relaxateurs de pression, l'aérosolthérapie ou le vibromassage.

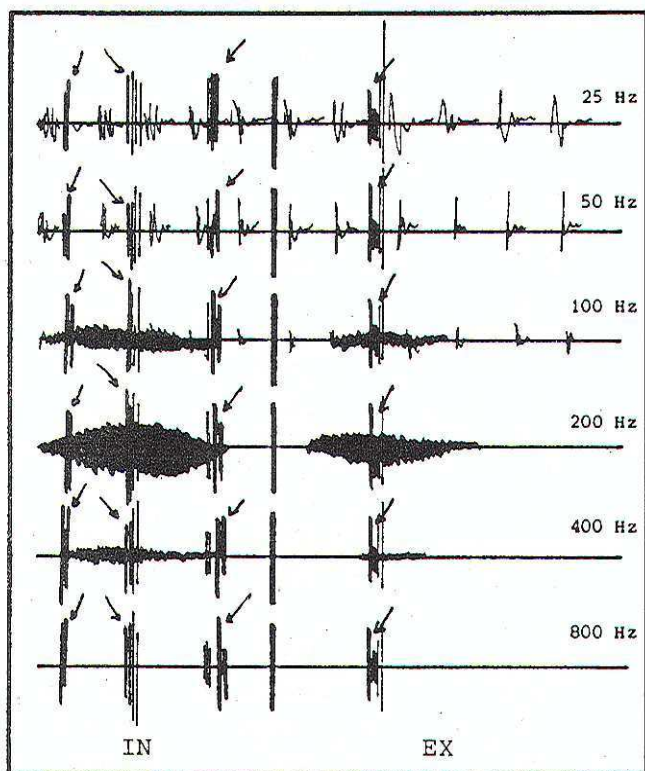


FIG. 4. - Phonopneumogramme d'un malade présentant des craquements inspiratoires et expiratoires de basse fréquence présents aux 6 filtres. Encombrement des gros troncs.

1) L'encombrement des grosses voies aériennes peut être constaté sans que l'auscultation thoracique simple soit nécessaire. L'air « bulle » au travers des sécrétions et les craquements générés sont audibles à la bouche, parfois à distance du patient. Ces « râles » sont impressionnants pour l'entourage mais semblent peu affecter la ventilation au niveau des résistances et des échanges.

Leur traitement kinésithérapique est simple et relève des manœuvres classiques : toux à haut volume pulmonaire ou hémage lorsque le patient est collaborant, aspiration endo-trachéale en cas de non coopération ou de toux inefficace par suite de la faiblesse du malade.

Ces craquements sont de basse fréquence (+ ou - 200 Hz), très énergiques puisqu'ils envahissent les 6 canaux au phonopneumogramme (fig. 4). Ils sont situés aussi bien en inspiration qu'en expiration sans situation systématique dans l'une ou l'autre phase.

Il existe, à leur égard, un danger de confusion avec d'autres craquements de basse fréquence, ceux-ci audibles seulement au moyen du stéthoscope. La différenciation se fera par le caractère

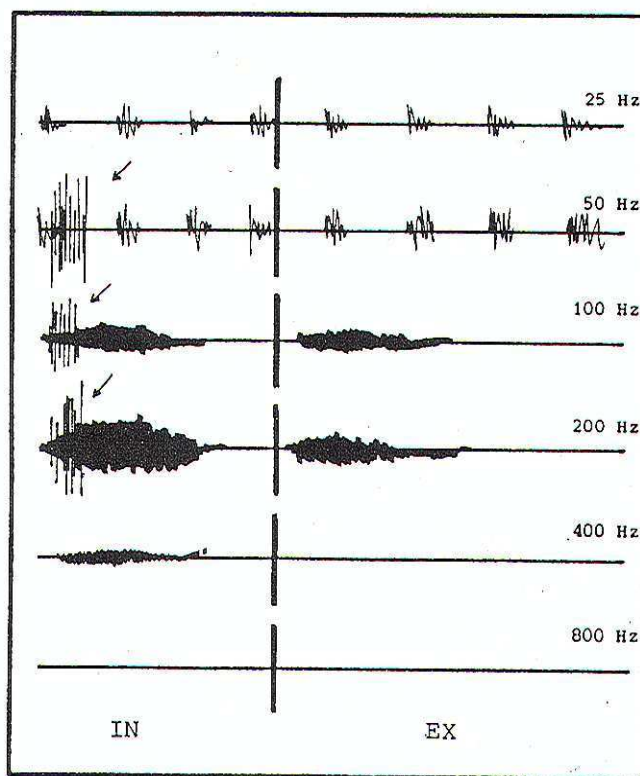


FIG. 5 a. - Craquements protophasiques inspiratoires de basse fréquence, indiqués par les flèches aux filtres 50, 100 et 200 Hz.

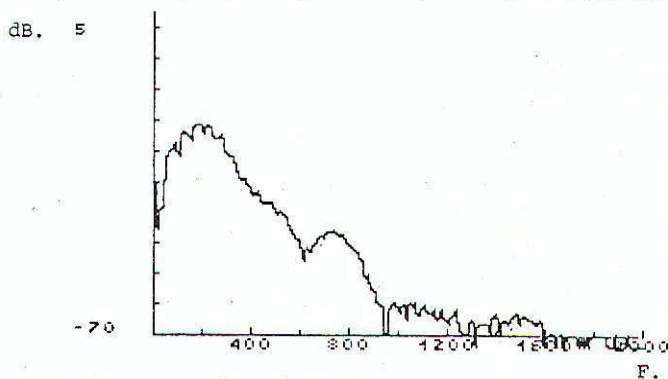


FIG. 5 b. - Analyse spectrale d'un craquement protophasique inspiratoire de la figure 5 a. En abscisse: les fréquences. En ordonnée: l'amplitude.

protophasique de ces derniers (fig. 5a), leur récurrence, leur localisation préférentielle aux régions pulmonaires postéro-basales dépendantes, et leur moindre contenu énergétique qui les confine dans ces régions sans propagation dans d'autres zones. Nous avons établi (23) que ces craquements ne correspondent pas à des sécrétions, mais se rencontrent lors d'altérations structuro-fonctionnelles du poumon dépendant chez les obstructifs chroniques. Leur analyse spectrale (fig. 5b) montre une bande passante étroite, avec une chute rapide aux hautes fréquences.

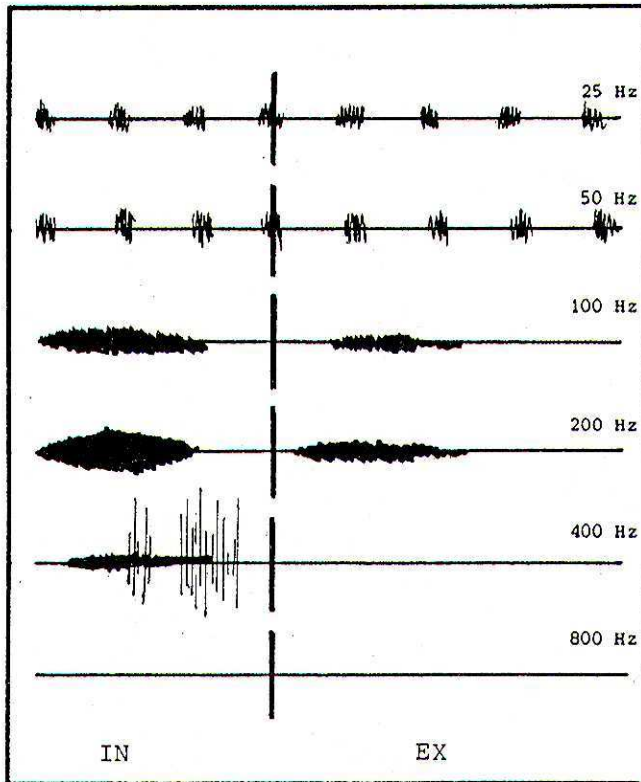


FIG. 6 a. - Craquements méso- et téléphasiques inspiratoires de moyenne fréquence, indiqués par la flèche au filtre 400 Hz.

2) L'obstruction des petites voies aériennes par des sécrétions pathologiques peut être responsable d'un shunt intrapulmonaire qui affecte les échanges par exclusion ventilatoire des territoires d'amont.

Dans ce cas, à l'auscultation, on capte la présence de craquements inspiratoires de moyenne fréquence.

Leur présence dans toute (holophase) ou partie (proto-, méso- ou téléphase) seulement de l'inspiration témoigne de l'importance correspondante de l'encombrement.

Le phonopneumogramme met ces craquements en évidence au filtre 400 Hz (*fig. 6a*).

Leur spectre (*fig. 6b*) présente une bande passante plus large s'étendant vers les plus hautes fréquences rendant compte de leur timbre.

Un traitement kinésithérapique spécifique s'indique ici d'une manière plus sélective notamment basé sur les propriétés dynamiques bronchiques. On choisira la toux, le hémage (appelé aussi manœuvre de « chasse ») ou les expirations prolongées (FET) à bas volume pulmonaire en choisissant une position du malade telle que

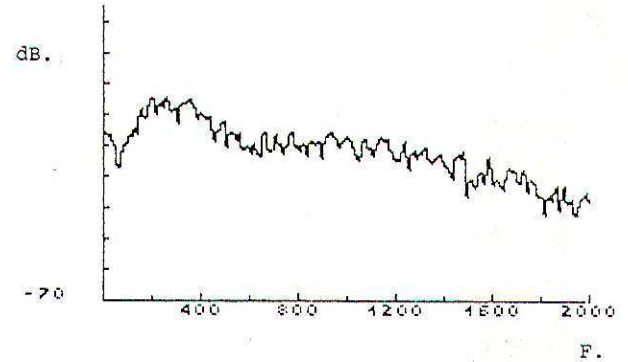


FIG. 6 b. - Analyse spectrale d'un craquement mésophasique de la figure 6 a. En abscisse: les fréquences. En ordonnée: l'amplitude.

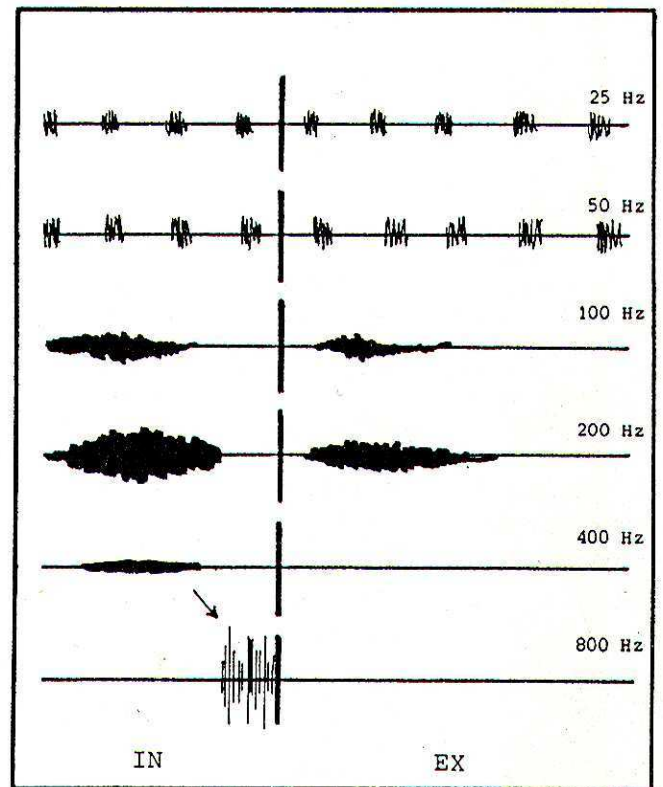


FIG. 7 a. - Craquements téléphasiques inspiratoires de haute fréquence d'un patient souffrant d'hypoalbuminémie, indiqués par la flèche au filtre 800 Hz.

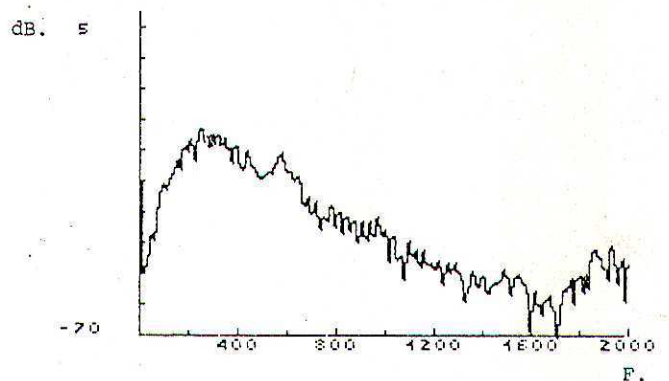


FIG. 7 b. - Analyse spectrale d'un craquement téléphasique de la figure 7 a. En abscisse: les fréquences. En ordonnée: l'amplitude.

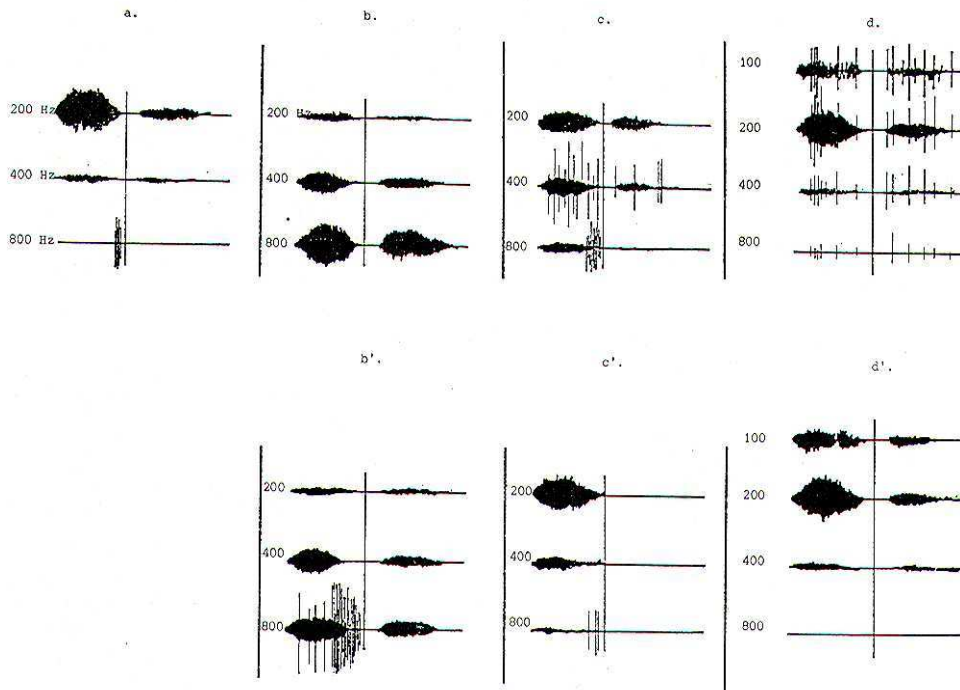


FIG. 8. — a — Au stade de début, inflammatoire, ou stade d'engouement, apparition de quelques craquements téléphasiques inspiratoires de haute fréquence sur bruits respiratoires normaux. b — Au stade de matité, condensation ou hépatisation rouge : bruits respiratoires bronchiques ; la charge énergétique des bruits respiratoires bronchiques se situe surtout aux filtres 800 Hz et 400 Hz. c — Au stade de défervescence, ou hépatisation grise : apparition de craquements de moyenne fréquence au filtre 400 Hz et de hautes fréquences à 800 Hz. Disparition progressive des bruits respiratoires bronchiques. d — En fin de résolution, craquements de basse fréquence envahissant tous les filtres. b' — Après exercices d'inspirations profondes à la capacité pulmonaire totale et en supralatéral, apparition de craquements téléphasiques inspiratoires de haute fréquence sur les bruits respiratoires bronchiques. c' — Après FET ou toux à bas volume pulmonaire en infralatéral, disparition des craquements de moyenne fréquence. d' — Après toux classique en assis, disparition des craquements de basse fréquence.

la région malade ou région cible se situe en dessous (côté plan d'appui dans le cas du décubitus latéral, par exemple).

Ceci est contraire à la technique classique du drainage de posture, nous l'avons explicité par ailleurs (22).

L'évolution habituelle vers la disparition de ces craquements suit le schéma suivant : s'ils sont holophasiques inspiratoires, ils deviennent ensuite méso et téléphasiques, avant de n'être plus que téléphasiques et de disparaître.

Leur comptage numérique peut donner par exemple : 17 craquements en téléphase avant kinésithérapie, 8 après toux à bas volume pulmonaire, alors que leur allure spectrale reste inchangée.

3) Les craquements de haute fréquence (800 Hz), quasi toujours téléphasiques ne sont

pas influencés par la kinésithérapie. On les trouve dans la fibrose pulmonaire, certaines hypoprotéïnémies (albumine basse par exemple) et la décompensation cardiaque débutante. Le phonopneumogramme les individualise au filtre 800 Hz (fig. 7a) et leur spectre (fig. 7b) présente une bande passante très large, presque horizontale aux hautes fréquences.

Bien que ces craquements ne soient habituellement pas influencés par la kinésithérapie, la pneumonie doit retenir plus particulièrement notre attention car au cours de son évolution, on observe classiquement une phase comportant des craquements à 800 Hz. Comme l'avait décrite Laënnec, la pneumonie présente une évolution stéthacoustique bien spécifique (fig. 8a, b, c, d). Hormis au quatrième stade (fig. 8d) qui correspond à la présence des sécrétions « bulant » dans les gros troncs, la pneumonie n'est

habituellement pas adressée au kinésithérapeute. A ce stade tardif, le malade expectore (*fig. 8d'*).

Au troisième stade de présence de craquements de moyenne fréquence (*fig. Be*), nous avons d'abord constaté que ceux-ci disparaissaient (*fig. Be'*) à l'aide de manœuvres de toux ou hémage à bas volume pulmonaire en position infralatérale ou encore par la FET.

Il semble qu'actuellement nous puissions agir plus précocement encore, au stade même d'hépatisation (*fig. 8b*) puisque nous avons remarqué qu'au moyen d'inspirations répétées à la capacité pulmonaire totale, région pulmonaire densifiée en supralatéral (soit pour une base droite: en décubitus latéral gauche, tronc légèrement tourné vers le plan du lit) on pouvait agir sur l'hépatisation du poumon (stade des bruits respiratoires bronchiques). En effet, après environ 30 minutes de cet exercice apparaissent des craquements téléphasiques inspiratoires de haute fréquence (*fig. 8 b'*), durablement récurrents, témoins d'une pénétration aérienne de ces régions densifiées. La kinésithérapie respiratoire pourrait ainsi avoir accès à des territoires plus périphériques qu'habituellement admis.

Discussion

Nous n'avons pas voulu dans cet article aborder l'important volet de l'interprétation des bruits respiratoires normaux et adventices au moyen de la phonopneumographie et de l'analyse spectrale.

Quoique peu utilisées à ce jour, ces techniques peuvent cependant aider le kinésithérapeute dans la recherche d'une application plus précise de ses techniques de soins.

En effet, l'analyse acoustique spécialisée permet:

- 1) l'objectivation et la confirmation scientifiques de l'auscultation médiate simple;
- 2) la distinction entre les différents types de bruits adventices et leur quantification énergétique. Elles sont en rapport avec la technique à mettre en œuvre, ainsi mieux choisie et aux effets mieux contrôlés;

3) d'enrichir le dossier médical de documents comparatifs au même titre que les épreuves fonctionnelles classiques;

4) de disposer d'un outil didactique extrêmement précieux pour la formation de stagiaires médecins et kinésithérapeutes à la nouvelle nomenclature d'auscultation pulmonaire.

Conclusion

Précieuse sur le plan diagnostique, l'analyse acoustique est d'un intérêt certain en kinésithérapie; autorisant une meilleure approche des phénomènes sonores pulmonaires, elle aide à un meilleur choix des techniques et représente un outil didactique de valeur.

Rapide, peu coûteuse, non invasive, cette technique trouvera un aboutissement dans l'utilisation au lit du malade d'un système aussi peu encombrant que le stéthoscope et faisant appel à des technologies avancées de miniaturisation et de traitement des signaux.

REMERCIEMENTS: Les auteurs remercient Monsieur Jean-Marie Lahaye pour sa contribution sur le terrain à l'application des techniques. Ce travail a bénéficié de l'aide de la firme Bochringer-Ingelheim, Belgique.

Références

1. BOSSER T. - Analyse spectrale des sons pulmonaires à l'aide d'un analyseur de Fourier et d'un micro-ordinateur. *Mémoire. Faculté polytechnique*. Mons, Belgique.
2. BOSSER T., CHAPPELLE P., LENS E., POSTIAUX G. - L'analyse acoustique des bruits respiratoires. *Rev. Fr. Acoust.* In press.
3. CABOT R.C., DODGE H.F. - Frequency characteristics of heart and lung sounds. *JAMA*, 1925, 84, 1793-1795.
4. DALMASSO F., GUARENE M., SPAGNOLO R., BENEDETTO G., RIGHINI G. - A computer system for timing and acoustical analysis of crackles: a study in cryptogenic fibrosing alveolitis. *Bull. Eur. Physiopathol. Respir.*, 1984, 20, 139-144.
5. EBINA T., TOSHIMA M., FUKUSHI K. - Klinische Anwendung elektrisch registrierter Atemgeräusche. *Beitr. Klin. Tub.*, 1956, 115, 276-81 (cité par Murphy).
6. EPLER G.R., GAENSLER E.A., CARRINGTON C.B. - Crackles (rales) in the interstitial pulmonary disease. *Chest*, 1978, 73, 333-339.
7. FORGACS P. - Crackles and wheezes. *Lancet*, 1967, 2, 203-205.

8. FORGACS P. - The functional basis of pulmonary sounds. *Chest*, 1978, 73, 399-405.
9. HANNON R.R., LYMAN R.S. - Studies on pulmonary acoustics. II. The transmission of tracheal sounds through freshly exenterated sheep's lungs. *Am. Rev. Tuberc.*, 1929, 19, 360-375.
10. KRAMAN S. - Does the vesicular sound come only from the lung? *Am. Rev. Respir. Dis.*, 1983, 128, 622-626.
11. KUDOH S., ICHIKAWA K., KOSAKA K. - Analysis of the raies in patients with fibrosing alveolitis by a new phonopneumographic method using a soundspectrograph. Rion publ. Japan, 1978.
12. LAENNEC R.T.H. - *De l'auscultation médiate ou traité du diagnostic des maladies des poumons et du cœur*. Brosson et Chaudé. Rep. Culture et civilisation. Bruxelles, 1968, 927 p., 2 vol.
13. LENS E., POSTIAUX G., CHAPELLE P. - L'auscultation en decubitus latéral des craquements inspiratoires téléphasiques. *Louvain Med.*, 104, 85-94, 1985.
14. LouDoN R., MURPHY R.L.H. - State of the art. Lung sounds. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 1984, 130, 663-673.
15. Mc KUSICK V.A., JENKINS J.T., WEBB J.N. - The acoustic basis of the chest examination. Studies by means of sound spectrography. *Am. Rev. Tuberc.*, 1955, 72, 12-34.
16. MORI M., KINOSHITA K., MORINARI H., SHIRAISHI T., KOIKE S., MURAO S. - Waveform and spectral analysis of crackles. *Thorax*, 1980, 35, 843-850.
17. MURPHY R.L.H., HOLFORD S.K., KNOWLER W.c. Visuallung-sound characterization by time-expanded wave -form analysis. *N. Engl. J. Med.*, 1977, 296, 968-971. 18. MURPHY R.L. - Auscultation of the lung: past lessons, future possibilities. *Thorax*, 1981, 36, 99-107.
19. NATH A.R., CAPEL L.H. - Inspiratory crackles and mechanical events of breathing. *Thorax*, 1974, 29, 695-698.
20. PLOYSONSANG Y., SCHONFELD G. - Mecanism of production of crackles after atelectasis during low-volume breathing. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 1982, 126, 413-415.
21. POSTIAUX G. - *La kinésithérapie respiratoire guidée par l'auscultation pulmonaire*. Kinésithérapie « scientifique » n° spécial 220, janvier 1984.
22. POSTIAUX G., LAHAYE J.-M., LENS E., CHAPELLE. - *Le drainage postural en question*. Kinésithérapie « scientifique », sept. 1985.
23. POSTIAUX G., LENS E., CHAPELLE P. - Conduite à tenir en kinésithérapie respiratoire face aux craquements proto-phasiques inspiratoires de basse fréquence. *Acta 3e Journ. euro kinésithér. resp. cardio-vasc.* Paris, octobre 1984.
24. PRYOR J.-A., WEBBER B.A. - An evaluation of the forced expiration technique as an adjunct to postural drainage. *Physiotherapy*, 1979, 65, 305-307.
25. ROBERTSON A.J. - Raies, rhonchi, and Laennec. *Lancet*, 1957, 1, 417-423.
26. THACKER RE., KRAMAN S. - The prevalence of auscultatory crackles in subjects without lung disease. *Chest*, 1982, 6, 672-674.
27. YOGANATHAN, GUPTA, CORCORAN. - Fast Fourier transform in the analysis of biomedical data. *Med. Biol. Eng. Comput.* 1976, 14, 239-245.