Rev Chil Pediatr 74 (3); 259-268, 2003

# Aplicaciones clínicas del estudio objetivo de los ruidos respiratorios en pediatría

Ignacio Sánchez D.1

#### Resumen

El estudio de los ruidos respiratorios ha concitado el interés de numerosos grupos de trabajo en los últimos años. El objetivo de esta revisión fue actualizar la nomenclatura, los equipos utilizados para la realización del estudio, y especialmente evaluar lo que se ha publicado en relación a la utilidad clínica de esta metodología. Junto con la descripción de los ruidos pulmonares y traqueales normales, se revisan las características de las sibilancias, crepitaciones, ronquido y estridor laríngeo. Dentro de las aplicaciones más importantes, se pueden describir: la evaluación anatómica de la vía aérea superior, diagnóstico de apnea obstructiva, apoyo en el diagnóstico diferencial de la obstrucción bronquial en lactantes y en preescolares durante la prueba de provocación bronquial, el estudio de la ventilación pulmonar regional y la transmisión de señales acústicas a distancia que pueden ser muy útiles desde el punto de vista asistencial y docente. En el futuro probablemente la tecnología desarrollará nuevos instrumentos, con menor costo, adaptados a las pruebas clásicas de función pulmonar.

(**Palabras claves:** ruidos respiratorios, función pulmonar, nomenclatura). Rev Chil Pediatr 74 (3); 259-268, 2003

# Breath sounds analysis: clinical aplications in children

Breath sounds research has been very active over the past few years, with many groups working in the field. The objective of this paper was to review the nonemclature, equipment used and the clinical applications of this methodology. Along with normal lung and traqueal sounds, a review of wheeze, crackles, snoring and stridor characteristics are presented. The main clinical applications are: evaluation of the upper airway anatomy and lung function studies, obstructive slep apnoea screening, evaluation of recurrent wheezy infants and broncho-provocation challenge testing in preschool children, regional ventilation studies and distance breath sound transmission for diagnostic and teaching purposes. In the future, smaller and cheaper instruments will be developed, that together with spirometric lung testing will give valuable information in childhood pulmonary studies. (Key words: breath sounds, nonemclature, lung function studies).

Rev Chil Pediatr 74 (3); 259-268, 2003

<sup>1.</sup> Sección Respiratorio Pediátrico, Departamento de Pediatría, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Trabajo recibido el 27 de marzo de 2003, aprobado para publicación el 5 de mayo de 2003.

#### INTRODUCCIÓN

El estudio de los ruidos respiratorios ha concitado la atención de varios investigadores en el último tiempo, en que se han realizado importantes revisiones y actualizaciones en la literatura internacional<sup>1,2</sup>. En los últimos años la aplicación de tecnología computacional ha significado un gran adelanto en el análisis objetivo de estas señales, lo que ha proporcionado una ventaja adicional a la información aportada por el estetoscopio tradicional, debido a la capacidad de almacenar, analizar y revisar la información según los requerimientos de cada paciente. En esta actualización el objetivo ha sido realizar una revisión sucinta de los mecanismos de generación y transmisión de los ruidos respiratorios, de los equipos necesarios para realizar este estudio y la relevancia clínica que tienen. Junto a lo anterior, se presenta un resumen de las aplicaciones clínicas de esta metodología en pediatría. El método de la revisión consistió en una búsqueda bibliográfica a través del Medline (National Library of Medicine's PubMed data base: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/ query.fcgi?db = Pub Med), entre 1966-2003 (enero), con las siguientes palabras claves: lung sounds, wheezing, crackles, breath sounds, spectral, application in children, upper airway obstruction, lung transmission, bronchoprovocation challenge, tracheal sounds, nomenclature, flow limitation, pulmonary fibrosis, bronchiolitis, asthma.

## Transmisión del sonido

Los estetoscopios frecuentemente utilizados no son instrumentos ideales desde el punto de vista acústico, ya que no entregan una transmisión del sonido amplia v real: sino que amplifican o atenúan los sonidos en el área de interés. Habitualmente esta amplificación ocurre bajo los 110 Hz, y se atenúa a frecuencias mayores, lo que es muy útil en relación a los sonidos cardíacos que ocurren bajo este rango de frecuencia, y que son escasamente percibidos por el oído humano. Sin embargo, hay un gran espectro de ruidos respiratorios que ocurre en frecuencias mayores a los 400 Hz, en que los estetoscopios habituales no discriminan en forma significativa. Es por esto que la auscultación pulmonar puede beneficiarse de una representación más amplia de los sonidos que se producen. Existen dos tipos principales de micrófonos utilizados para registrar sonidos: los micrófonos con cámaras acopladas y los acelerómetros, estos difieren en su sensibilidad, espectro de mejor transmisión de los sonidos en las frecuencias mayores, costo, tamaño y transmisión del ruido ambiente<sup>3</sup>. A través de filtros, un sistema de transformación análogadigital y análisis matemático de Fourier podemos analizar las señales en un computador personal (figura 1).

El tracto respiratorio incluye las cuerdas vocales, el espacio subglótico y la estructura bronquial que se va ramificando y que va

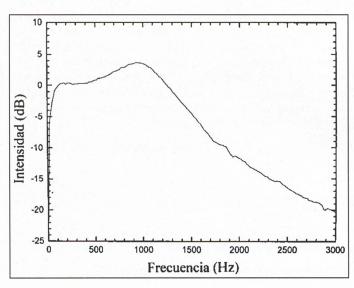


Figura 1. Curva intensidad *vs* frecuencia del micrófono Siemmens EMT25C, utilizado en el laboratorio. El sensor es estable en el rango de 100 a 1 200 Hz, que corresponde al de la frecuencia de los ruidos respiratorios.

a trasmitir los sonidos pulmonares con dos características principales: el sonido se transmite desde la vía aérea principal que vibra en respuesta a un sonido intraluminal y que se propaga hacia el parénquima distal por un tubo no rígido que tiene abiertos sus extremos dístales que están representados por la vía aérea pequeña y los alvéolos. El comportamiento de este sistema de tubos en conjunto con la vibración de la pared torácica, corresponde a una resonancia con una frecuencia cercana a los 650 Hz, la que se transmite como sonido pulmonar en sujetos adultos sanos (figura 2). En relación a la vía aérea superior, estas frecuencias están más cerca del rango de 900-1 200 Hz<sup>4,5</sup>. La presencia de frecuencias mayores en la transmisión de ruidos pulmonares, sugiere obstrucción bronquial, ya que una mayor energía se mantiene en el lumen de la vía aérea y se transmite en forma más rápida a la vía aérea distal.

El mecanismo por el cual las vías aéreas, el parénquima y la pared torácica interactúan para producir las propiedades acústicas del tórax es un tópico de amplia investigación. En general los modelos se simplifican al resaltar la importancia de las resonancias de los tubos del sistema respiratorio y las pérdidas por la propagación del sonido en las vías aéreas y en el parénquima pulmonar<sup>6</sup>.

Los cambios en la densidad del gas y en la estructura pulmonar que ocurre en las diferentes enfermedades puede afectar la amplitud y el tiempo de transmisión del sonido desde las vías aéreas a la superficie del tórax. En pacientes con enfisema se observa una disminución y una mayor variabilidad de la amplitud transmitida a bajas frecuencias, lo que es consistente con el hallazgo auscultatorio de una disminución en la intensidad de los sonidos pulmonares. En contraste con lo anterior, el edema pulmonar cardiogénico aumenta la amplitud del sonido transmitido en la pared del tórax, lo que es compatible con el hallazgo de la respiración más bronquial que se ausculta en el pulmón con una condensación aguda<sup>7</sup>.

# Clasificación y nomenclatura de los ruidos respiratorios

La nomenclatura en esta área ha sido imprecisa hasta hace unos 20 años, en que un grupo de expertos se reunió y realizó un consenso de la nomenclatura actual, en que se describieron los sonidos por sus características acústicas, más que asumir su mecanismo o lugar de producción (tabla 1)8,9. Los ruidos respiratorios normales que se auscultan en el tórax, presentan un rango de frecuencia entre 100-800 Hz, utilizando micrófonos apropiados. Se ha descrito una inspiración que transmite ruidos generados en la vía aérea lobar y segmentaria, y una espiración pasiva, más silenciosa que refleja los ruidos de la vía aérea más central<sup>10-12</sup>. Se han descrito diferencias significativas en los ruidos pulmonares al variar la densidad del gas inspirado, lo que estaría dado por una disminución en el flujo turbulento<sup>13</sup>.

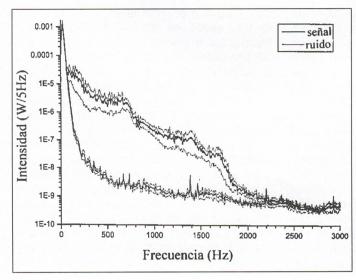


Figura 2. Diferencia entre ruido respiratorio traqueal (señal) y el ruido del laboratorio en donde se realizó la grabación (ruido). En este caso, la escala de frecuencia es lineal, y la intensidad se expresa en Watts/5 Hertz (la curva superior es la señal acústica ± DS y la inferior es el ruido del laboratorio ± DS).

Tabla 1. Tipos de ruidos respiratorios

Ruidos respiratorios	Mecanismos	Origen	Características acústicas	Relevancia
Ruidos normales: a) Sonidos pulmonares	Flujo turbulento, vórtices	Vía aérea central (esp), y segmentaria (insp	Frecuencia > 100 < 800 Hz .)	Ventilación regio- nal, calibre de la vía aérea
b) Sonidos traqueales	Flujo turbulento, resonancia en la vía aérea	Laringe, tráquea vía aérea sup	> 200 < 1 500 Hz	Configuración vía aérea sup
Ruidos adventicios a) Sibilancias	Oscilación de la vía aérea, vórtices, <i>shedding</i>	Vía aérea central e inferior	Tipo sinusoidal 100-1 000 Hz, con duración > 80 ms	Obstrucción vía aérea, limitación flujo aéreo
b) Roncus	Movimiento de líquido, vibración vía aérea	Vía aérea principal	Tipo sinusoidal (< 300 Hz y > 100 ms)	Secreciones obst. bronquial
c) Crepitaciones	Apertura de la vía aérea pequeña y movimiento secreciones vía aérea	Vía aérea inferior	Ondas explosivas (< 20 ms)	Apertura y cierre vía aérea, secreciones
d) Estridor	Colapso inspiratorio	Vía aérea superior	Musical, > 250 ms, frecuencia: > 200 < 1 500 Hz	
e) Quejido	Aumento presión espiratoria, auto PEEP	Vía aérea superior	Musical, > 250 ms, frecuencia: > 200 < 1 200 Hz	Mantención PEEP

Los ruidos pulmonares varían también entre las personas, dependiendo de su edad, tamaño, lugar en donde se registre, pero en forma principal según el tipo de flujo aéreo que se genere, ya que los ruidos son flujodependiente. Por otra parte, estudios han demostrado que existe una relación entre ventilación y amplitud del sonido pulmonar, observándose disminución en la intensidad del sonido pulmonar en las zonas de disminución en la ventilación 14-18. El tamaño corporal determina una influencia en los ruidos respiratorios, los niños tienen una calidad diferente de ruidos pulmonares, lo que se ha atribuido a la transmisión acústica a través de una vía aérea más pequeña, menor parénquima pulmonar y una pared torácica más delgada, (figura 3). Al comparar los ruidos pulmonares normales, con corrección de flujo aéreo, se observaron diferencias en frecuencia e intensidad que sugieren diferentes características de resonancia de un tórax pequeño, junto con una menor contribución del aparato muscular en los ruidos de baja frecuencia, en el caso de los ruidos pulmonares de los lactantes y preescolares en relación a los adultos.<sup>14</sup>

Los ruidos traqueales normales que se auscultan en la parte superior de la escotadura supraesternal o en la parte lateral del cuello, son actualmente un tema de interés e investigación. Estos ruidos son más fuertes, y cubren un rango mayor de frecuencias en relación a los ruidos pulmonares, con etapas muy distinguibles en el ciclo respiratorio y una relación muy estrecha al flujo

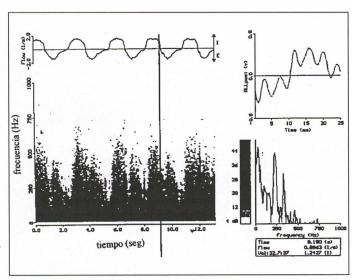


Figura 3. Respirosonograma captado del computador en una grabación realizada en un lactante. Se puede apreciar flujo, frecuencia e intensidad durante 13s respecto de ruidos pulmonares. La tonalidad de negro a gris representa intensidad (dB). Los gráficos laterales representan diferencias de voltaje y distribución de frecuencia en un segmento de 100 mseg (ver barra vertical).

aéreo generado<sup>19</sup>. La generación de los ruidos traqueales está principalmente relacionada al flujo aéreo turbulento en la vía aérea superior, incluyendo faringe, glotis y región subglótica. La presión de las ondas de sonido dentro de la vía aérea y el movimiento vibratorio de esta última son los componentes principales del sonido que se registra como ruidos traqueales. Estos ruidos son considerados como más puros, no sujetos al filtro del tejido pulmonar; sin embargo, hay factores anatómicos que pueden modificarlos, como los cambios en la posición del cuello, de la lengua y el tipo de neumotacógrafo y pieza bucal utilizada para realizar el registro<sup>16-17</sup>. Los ruidos traqueales han sido descritos como de amplio espectro, que cubre un rango de frecuencia desde menos de 100 Hz a más de 1500 Hz, con una caída brusca en la intensidad en una frecuencia cercana a los 800 Hz. Al analizar los ruidos traqueales en niños y adultos, se ha encontrado una relación estrecha entre esta caída brusca y la talla del sujeto; los niños con menor estatura corporal tienen una mayor frecuencia de corte que los adultos<sup>20</sup>. Dentro de las aplicaciones clínicas que ha tenido el estudio de los ruidos traqueales, se cuenta: a) la detección de ronquido en pacientes estudiados por sospecha de apnea obstructiva del sueño, en donde la dinámica de la faringe parece ser diferente en los pacientes con apnea obstructiva, por lo que estudios posicionales diurnos podrían predecir el comportamiento durante el sueño<sup>22,23</sup>; b) el estrechamiento de la vía aérea también puede ser estudiado a través del análisis de los sonidos traqueales, ya que se han publicado estudios en que se relaciona el espectro de sonidos tanto con obstrucciones supra e infraglóticas, observándose mayor intensidad del sonido a una misma frecuencia, como reflejo de la disminución en el lumen de la vía aérea superior<sup>21,24</sup>.

# Ruidos adventicios o anormales:

## a) Sibilancias

Es probablemente el término más utilizado para describir un sonido, en especial en niños en que la prevalencia de la patología obstructiva es significativamente mayor a la del adulto. Sin embargo, lo anterior, existen escasas descripciones objetivas de las características acústicas de las sibilancias, las que son ruidos musicales, también llamados continuos debido a su mayor duración al compararlos con las crepitaciones; deben extenderse por más de 80 ms (habitualmente 250 ms) y el rango de la frecuencia varía entre < 100 Hz a > 1 000 Hz $^{25,26}$ . Los mecanismos fisiopatológicos que generan las sibilancias no son completamente conocidos, sin embargo, la oscilación de la vía aérea, la distorsión geométrica de ésta, el movimiento de secreciones y la formación de vórtices, junto a una limitación del flujo aéreo, parecen ser los mecanismos principales en la fisiopatología de las sibilancias<sup>25</sup>. La generación de las sibilancias durante la respiración espontánea o secundaria a pruebas de provocación bronquial (histamina, metacolina) ha sido útil para evaluar las características acústicas, y demostrar que en sujetos mayores las sibilancias mantienen las características de lo que ocurre en sujetos asmáticos, con onda sinusoidal y duración en el rango descrito<sup>27-29</sup>. La cuantificación de las sibilancias en el tiempo se ha utilizado para expresar la severidad en relación a la obstrucción bronquial. La proporción del ciclo respiratorio ocupado por sibilancias (Tsib/ Ttot) fue inversa en relación al flujo espiratorio en el primer segundo (VEF<sub>1</sub>) en asmáticos con obstrucción bronquial moderada a severa<sup>30-32</sup>. En un futuro próximo, el avance en la tecnología computacional va a significar un mejor reconocimiento de las características acústicas y los mecanismos fisiopatológicos involucrados33,34.

La detección de sibilancias a través de la auscultación clínica es fácil y accesible; lo que se ha utilizado como indicador de obstrucción bronquial significativa<sup>35,36</sup>. Se ha descrito que utilizando el análisis computacional de los ruidos respiratorios durante una prueba de provocación bronquial, la caída en un 20% del VEF<sub>1</sub> se correlaciona con la presencia de sibilancias en niños escolares, preescolares, con asma y otras enfermedades obstructivas crónicas como fibrosis quística<sup>37-39</sup>. Así también, en los últimos años se ha publicado la experiencia con el registro respiratorio de las sibilancias en lactantes, las que han demostrado ser muy útiles para

entender mejor la fisiopatología de la obstrucción bronquial<sup>40,41</sup>. Se ha podido demostrar que las características acústicas de las sibilancias en lactantes son de 2 tipos: clásicas o muy similares a las que se observan en sujetos asmáticos (onda sinusoidal, puras), y complejas, caracterizadas por una combinación de onda sinusoidal y crepitaciones (ondas de corta duración, explosivas). Junto a lo anterior, se ha establecido que las características de las sibilancias en bronquiolitis son diferentes a las que se presentan en pacientes con obstrucción bronquial recurrente, y que la respuesta a la terapia broncodilatadora va a depender de estas características acústicas 42,43. Lo anterior puede tener una gran importancia al evaluar pacientes con sibilancias recurrentes que están en riesgo de presentar asma (figuras 4 y 5).

La disminución en la intensidad de los ruidos respiratorios en situaciones de obstrucción bronquial severa ha sido notoria y ha llamado la atención de varios grupos de investigadores. Existe una redistribución de la intensidad hacia frecuencias mayores, con un desplazamiento de la frecuencia media, lo que se revierte posterior a la nebulización con salbutamol44. La relación inversa observada entre intensidad de los ruidos respiratorios y la severidad de la obstrucción bronquial no es tan clara al incluir la presencia de sibilancias, ya que éstas desvían el espectro de sonidos a frecuencias mayores, disminuyendo el efecto de la caída de la intensidad de los ruidos pulmonares<sup>45</sup>.

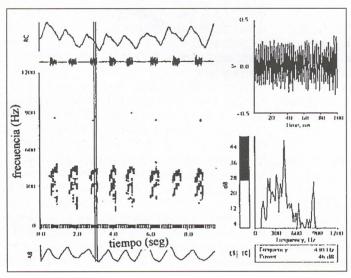


Figura 4. Sonograma de un paciente con bronquiolitis aguda y sibilancias clásicas. El eje horizontal corresponde al tiempo y la frecuencia al vertical. La magnitud de la intensidad se expresa como tonalidad de negro a gris (negro: alto, gris: bajo). La doble barra vertical en los 3 s resalta 0,1 s durante la espiración. En los gráficos de la derecha se observan las variaciones de amplitud (arriba) y de frecuencia (abajo) en este segmento. La ventana de amplitud muestra una onda de tipo sinusoidal que se manifiesta con distintas espigas de frecuencia en el gráfico correspondiente. Se trata de una sibilancia clásica, comúnmente observada en pacientes mayores con asma.

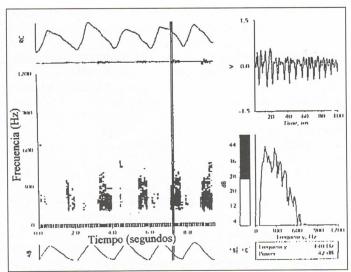


Figura 5. El sonograma de un paciente con bronquiolitis aguda y sibilancias complejas. La ventana de amplitud se manifiesta con menos espigas de menor definición en la ventana de frecuencia comparada con sibilancias clásicas. Este tipo de sibilancias son poco frecuentes en asmáticos y se observan, en general, en lactantes con obstrucción bronquial secundaria a infecciones virales.

b) Crepitaciones

Las crepitaciones son muy útiles en el diagnóstico de enfermedades pulmonares restrictivas, se describen como pequeñas explosiones que se auscultan principalmente durante la inspiración, no se modifican por la tos y generalmente se presentan con mayor frecuencia en la parte inferior de los pulmones. En relación a las crepitaciones gruesas, en general corresponden a movimiento de secreciones en la vía aérea, son menos explosivas y se modifican con la tos<sup>46,47</sup>. Desde el punto de vista acústico estas ondas explosivas son de muy corta duración (20 ms), con ondas irregulares, no sinusoidales y el ruido es típicamente no musical; correspondiendo a la apertura y cierre de la vía aérea pequeña. Las crepitaciones se presentan típicamente en pacientes con neumonía (acompañado de soplo tubario o respiración soplante), y en pacientes con diferentes grados de fibrosis pulmonar en adultos y niños. Sus diferencias acústicas podrían ayudar en diferenciar enfermedades restrictivas puras, de otras con componente obstructivo (ej: fibrosis quística), en donde se presenta un aumento de secreciones en la vía aérea que se manifiesta como crepitaciones gruesas, cambiantes y dependientes de la posición corporal<sup>48,49</sup>.

# c) Otros ruidos respiratorios de interés

Previamente se ha descrito la utilidad de la evaluación del estridor en pacientes con obstrucción de la vía aérea superior (laringitis obstructiva, masas mediastínicas), por la buena correlación que presenta el análisis acústico con las modificaciones de la función pulmonar y por ende la anatomía de la zona comprometida<sup>20,21,24</sup>. Sería muy útil evaluar la utilidad de este análisis en el estudio de los pacientes con estridor congénito y laringomalacia, en quienes puede ser una herramienta muy útil en el seguimiento de estos lactantes.

En relación al ronquido, en los últimos años se ha utilizado en forma cada vez más frecuente como indicador de apnea obstructiva, ya que junto a otros parámetros puede ayudar a diferenciar apnea central de la de tipo obstructiva, por lo que también se ha utilizado en instrumentos de tamizaje utilizados en domicilio<sup>50</sup>.

# **Proyecciones**

Así, durante los últimos años hemos asistido a avances notorios en el perfeccionamiento de esta metodología no invasiva, que ha permitido conocer más de la fisiopatología de las enfermedades respiratorias. En un futuro cercano, probablemente vamos a observar la integración de estos métodos de registro con mediciones de función pulmonar basados en espirometría. Dentro de las áreas de mayor potencial futuro en la ayuda diagnóstica se cuentan: a) evaluación de la anatomía y función de la vía aérea superior, de especial importancia lo que se refiere a las alteraciones dinámicas de la vía aérea en pacientes que presentan problemas de colaboración con exámenes más clásicos,

ya sea por su edad o su condición de salud; b) ayuda diagnóstica en la sospecha de apnea obstructiva, en particular en pacientes obesos, en que puede ser de gran utilidad al seleccionar pacientes con mayor riesgo de presentar apnea del sueño; c) en pacientes con obstrucción bronquial recurrente, ya sea en lactantes en quienes el diagnóstico diferencial intenta separar los que son secundarios a infecciones virales, o si el paciente es portador de asma bronquial de presentación precoz en los primeros años de vida. En este caso, las características de las sibilancias pueden ser de utilidad en el seguimiento. Así también, la realización de pruebas de provocación bronquial, en sujetos que no colaboran con las pruebas espirométricas puede ser una línea de aplicación clínica futura; d) el estudio de la ventilación pulmonar regional, y las alteraciones que pueden presentarse, ya que a través de varios micrófonos podemos tener la información de la ventilación en varias regiones del pulmón en un mismo instante, lo que podría ser un apoyo diagnóstico complementario a algunas técnicas actuales de estudios realizados a través de medicina nuclear, con menos riesgos teóricos para el paciente. Así también, esta tecnología puede tener aplicaciones en el cuidado crítico de pacientes con alteraciones en la relación ventilación/perfusión; e)una de las aplicaciones más fascinantes de esta tecnología es la que se refiere a la posibilidad de transmitir señales a distancia, con el objeto de poder conectarse con centros de mayor resolución asistencial y tecnológica, junto con poder ser muy útil en la docencia de pre y postgrado en la enseñanza de la semiología respiratoria<sup>51-53</sup>.

Existen algunos problemas técnicos que es necesario solucionar en el futuro, en el sentido de poder desarrollar micrófonos más resistentes, económicos y que sean capaces de resistir el ruido ambiental de mejor forma; con la misma adaptación que presentan en la actualidad con equipos de computación que son de uso habitual en la mayoría de los laboratorios de función pulmonar. Junto a esto, es necesario acoplarlos de una manera integrada a las mediciones de los parámetros espirométricos y de función pulmonar clásica. Pese a todos los avances descritos, la utilidad de esta metodología y las posibles aplicaciones futuras, es necesario recalcar que ninguno de estos

adelantos van a reemplazar a una adecuada auscultación del tórax del paciente, y que esta semiología nos va a proporcionar una información muy valiosa utilizando el sentido de la audición y el procesador que tenemos incorporado entre las olivas del estetoscopio.

## REFERENCIAS

- Loudon RG, Murphy RL: Lung sounds. Am Rev Respir Dis 1984; 130: 663-73.
- Gavriely N: Breath sounds methodology. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA.
- Pasterkamp H, Kraman SS, De Frain PD, Wodicka GR: Measurement of respiratory acoustical signals: comparison of sensors. Chest 1993; 104: 1518-25.
- Rice DA: Sound speed in the upper airways. J Appl Physiol 1980; 40: 326-36.
- Rice DA: Sound speed in pulmonary parenchyma.
  J Appl Physiol 1983; 54: 304-8.
- 6.- Wodicka GR, Stevens KN, Golub HL, Shannon DC: Spectral characteristics of sound transmission in the human respiratory system. IEEE Trans Biomed Eug 1990; 37: 1130-5.
- Ploysongsang Y, Martin RR, Ross WR, Loudon RG, Macklem PT: Breath sounds and regional ventilation. Am Rev Respir Dis 1977; 116: 187-99.
- Cugell DW: Lung sound nomenclature. Am Rev Respir Dis 1987; 136: 1016.
- Pasterkamp H, Kraman SS, Wodicka GR: Respiratory Sounds. Advances beyond the stethoscope. Am J Respir Crit Care Med 1997; 156: 974-87.
- Hoevers J, Loudon RG: Measuring crackles. Chest 1990; 98: 1240-3.
- 11.- Gavriely N, Palti Y, Alroy G: Spectral characteristics of normal breath sounds. J Appl Physiol 1981; 50: 307-14.
- 12.- Gavriely N, Nissan M, Rubin AHE, Cugell DW: Spectral characteristics of chest wall breath sounds in normal subjects. Thorax 1995; 50: 1292-300.
- 13.- Pasterkamp H, Sánchez I: Effects of gas density on respiratory sounds. Am J Respir Crit Care Med 1996; 153: 1087-92.
- 14.- Pasterkamp H, Powell RE, Sánchez I: Characteristics of lung sounds at standardized air flow in normal infants, children and adults. Am J Respir Crit Care Med 1996; 154: 424-30.
- 15.- Kraman SS: Effects on lung volume and airflow on the frequency spectrum of vesicular lung sounds. Respir Physiol 1986; 66: 1-9.

- Kange JF, Kraman SS: Comparison of the lung sound frequency spectra of infants and adults. Pediatr Pulmonol 1986; 2: 292-5.
- 17.- Gross V, Dittmar A, Penzel T, Schittler F, Von Wichert P: The relationship between normal lung sounds, age, and gender. Am J Respir Crit Care Med 2000; 162: 905-9.
- Gavriely N, Cugell DW: Airflow effects on amplitude and spectral content of normal breath sounds. J Appl Physiol 1996; 80: 5-13.
- 19.- Kraman SS, Pasterkamp H, Kompis M, Takase M, Wodicka G: Effects of breathing pathways on tracheal sound spectral features. Respir Physiol 1998; 111: 295-300.
- Sánchez I, Pasterkamp H: Tracheal sound spectra depend on body height. Am Rev Respir Dis 1993; 148: 1083-7.
- 21.- Zamorano A, Beroíza MT, Sánchez I: Correlación entre el espectro de sonidos traqueales y la espirometría en un adulto con obstrucción de la vía aérea superior. Caso clínico. Rev Chil Enfer Respir 2003: 19: 43-6.
- 22.- Pasterkamp H, Schafer J, Wodicka GR: Posture dependent change of tracheal sounds at standardized flows in patients with obstructive sleep apnea. Chest 1996; 110: 1493-8.
- 23.- Beckerman RC, Wegmann MJ, Waring WW: Tracheal breath sounds for detection of apnea in infants and children. Crit Care Med 1982; 10: 363-6.
- 24.- Pasterkamp H, Sánchez I: Tracheal sounds in upper airway obstruction. Chest 1992; 102: 963-5.
- 25.- Gavriely N, Grotberg JB: Flow limitation and wheezes in a constant flow and volume lung preparation. J Appl Physiol 1988; 64: 17-20.
- 26.- Beck R, Gavriely N: The reproducibility of forced expiratory wheezes. Am Rev Respir Dis 1990; 141: 1418-22.
- 27.- Rietveld S, Dooijes EH, Rijssenbeck-Nouwens LH, Smit F, Prins PJ, Kolk AM, Everaerd WA: Characteristics of wheeze during histamine-induced airways obstruction in children with asthma. Thorax 1995; 50: 143-8.
- 28.- Sprikkelman AB, Schouten JP, Lourens MS, Heymans HSA, Van Aalderen WMC: Agreement between spirometry and tracheal auscultation in assessing bronchial responsiveness in asthmatic children. Respir Med 1999; 93: 102-7.
- 29.- Sánchez I, Avital A, Wong I, Tal A, Pasterkamp H: Acoustic vs spirometric assessment of bronchial responsiveness to methacholine in children. Pediatr Pulmonol 1993; 15: 28-35.
- Pasterkamp H, Consunji-Araneta R, Oh Y, Holbrow J: Chest surface mapping of lung sounds during methacholine challenge. Pediatr Pulmonol

- 1997; 23: 21-30.
- 31.- Kiyokawa H, Pasterkamp H: Volume-dependent variations of regional lung sound, amplitude, and phase. J Appl Physiol 2002; 93: 1030-8.
- Kompis M, Pasterkamp H, Wodicka GR: Acoustic imaging of the human chest. Chest 2001; 120: 1309-21.
- 33.- Gavriely N, Palti Y, Alroy G, Grotberg JB: Measurement and theory of wheezing breath sounds. J Appl Physiol 1984; 57: 481-92.
- 34.- Pasterkamp H, Carson C, Daien D, Oh Y: Digital respirosonography: new images of lung sounds. Chest 1989; 96: 1405-12.
- Avital A, Bar-Yishay E, Springer C, Godfrey S: Bronchial provocation tests in young children using tracheal auscultation. J Pediatr 1988; 112: 591-
- 36.- Sprikkelman AB, Grol MH, Lourens MS, Gerritsen J, Heymans HAS, Von Aalderen WMC: Use of tracheal auscultation for the assess unit of bronchial responsiveness in asthmatic children. Thorax 1996; 51: 317-9.
- 37.- Sánchez I, Powell RE, Pasterkamp H: Wheezing and airflow obstruction during methacholine challenge in children with cystic fibrosis and in normal children. Am Rev Respir Dis 1993; 147: 705-9.
- 38.- Spence DP, Graham DR, Jamieson G, Cheetham BM, Calverley PM, Earis JE: The relationship between wheezing and lung mechanics during methacholine-induced bronchoconstriction in asthmatic subjects. Am J Respir Crit Care Med 1996; 154: 290-4.
- 39.- Bohadana AB, Peslin R, Uffholtz H, Pauli G: Potential for lung sound monitoring during bronchial provocation testing. Thorax 1995; 50: 955-61.
- Tal A, Sánchez I, Pasterkamp H: Respirosonography in infants with acute bronchiolitis. Am J Dis Child 1991; 145: 1405-10.
- 41.- Elphick HE, Ritson S, Rodgers H, Everard ML: When a "wheeze" is not a wheeze: acoustic analysis of breath sounds in infants. Eur Respir J 2000; 16: 593-7.
- 42.- Sánchez I, Alvarez C, Clavería C, Lisboa C: Análisis computacional de los ruidos respiratorios en la evaluación de la obstrucción bronquial en niños pequeños que no colaboran con las pruebas espirométricas. Rev Méd Chile 2001; 129: 1271-8.
- 43.- Sánchez I, Navarro H, Bertrand P, Alvarez C, Lisboa C: Análisis acústico de las sibilancias en lactantes con obstrucción bronquial aguda. Estudio de seguimiento. Rev Méd Chile 2002; 130: 760-7.
- 44.- Anderson K, Aitken S, Carter R, MacLeod JE, Moran F: Variation of breath sound and airway

- caliber induced by histamine challenge. Am Rev Respir Dis 1990; 141: 1147-50.
- 45.- Melmberb LP, Sorna R, Sovijarvi AR: Frequency distribution of breath sounds as an indicator of bronchoconstriction during histamine challenge test in asthmatic children. Pediatr Pulmonol 1994, 18: 170-7.
- 46.- Mori M, Kinoshita K, Morinari H, Shiraishi T, Koike S, Murao S: Waveform and spectral analysis of crackles. Thorax 1980; 35: 843-50.
- 47.- Playsongsang Y, Schonfeld SA: Mechanism of production of crackles after atelectasis during low-volume breathing. Am Rev Respir Dis 1982; 126: 413-5.
- Pirila P: Changes in crackle characteristics during the clinical course of pneumonia. Chest 1992; 102: 176-83.

- 49. Sánchez I, Wolstein R, McCartly D, Pasterkamp H: Efecto de los cambios posturales en las crepitaciones de pacientes con fibrosis quística versus fibrosis pulmonar. Comunicación preliminar. Rev Chil Enf Respir 2002; 18: 7-13.
- 50.- Issa FG, Morrison D, Hadjuk E, Iyer A, Feroah T, Remmers JE: Digital monitoring of sleep-disordered breathing using snoning sound and arterial oxygen saturation. Am Rev Respir Dis 1993; 148: 1023-9.
- 51.- Sestini P, Renzoni E, Rossi M, Beltrani V, Vagliasindi M: Multimedia presentation of lung sounds as a learning aid for medical students. Eur Respir J 1995; 8: 783-8.
- 52.- Pasterkamp H, Sánchez I, Oh Y: Teleauscultation: Bringing you to the bedside. Can Respir J 1995; 2: 237-40.

# **AVISO A LOS AUTORES**

Se recuerda a los autores que los artículos publicados en otro idioma en revistas extranjeras pueden ser propuestos para publicación secundaria si se ajustan a las recomendaciones del Comité Internacional de Revistas biomédicas, Rev Chil Pediatr 1999; 70 (2): 145-161