

# 連続性ラ音の音響学的性状および伝播特性に関する検討

—気管支狭窄による連続性ラ音と気管支喘息患者ラ音の対比検討—

奈良県立医科大学第2内科学教室

長 澄 人

## ANALYSIS OF ACOUSTIC FEATURES AND CHARACTERISTICS OF THE TRANSMISSION OF CONTINUOUS ADVENTITIOUS LUNG SOUNDS — A COMPARISON BETWEEN THE CONTINUOUS SOUNDS IN ASTHMATIC PATIENTS AND THOSE DUE TO BRONCHIAL STENOSIS —

SUMITO CHOH

*The 2nd Department of Internal Medicine, Nara Medical University*

Received March 18, 1992

*Summary*: The author studied the acoustic features of continuous adventitious lung sounds in asthmatic patients, and analyzed the characteristics of transmission by comparing the continuous sounds in asthmatic patients with those due to bronchial stenosis. The results were as follows;

1) Continuous adventitious lung sounds in patients with bronchial stenosis confirmed by bronchoscopy were well transmitted to the neck over the trachea. Therefore, it was demonstrated that continuous adventitious lung sounds generated in the lung were able to be transmitted to the tracheal region.

2) Continuous adventitious lung sounds in asthmatic patients were divided into monophonic tones and polyphonic tones, according to sound spectrographic findings. From the results of coherence analysis, the monophonic tones were considered to be generated in the right or left lung and were well transmitted to the neck over the trachea.

Therefore, it was confirmed that the tracheal region is a very important location for auscultating and monitoring asthmatic patients.

3) From the results of cross-correlation analysis, it was suggested that the continuous adventitious lung sounds due to bronchial stenosis could be differentiated from those in asthmatic patients.

### Index Terms

continuous adventitious lung sounds, bronchial asthma, bronchial stenosis, coherence, cross-correlation

### 緒 言

一般に断続性ラ音の伝播が極めて限局的である<sup>1)</sup>のに対し連続性ラ音は胸郭の各部位に広汎に伝播すると考えられており<sup>2)</sup>, 当教室の竹澤ら<sup>3)</sup>も気管支喘息患者の連続

性ラ音は気管上頸部への伝播性が非常に良いことを報告している。一方, Collet ら<sup>4)</sup>は気管支喘息患者に気道狭窄を起こさせ上気道の変化をX線透視下に観察したところ喉頭の狭窄が認められたと述べ, Christopher ら<sup>5)</sup>も vocal cord dysfunction presenting as asthma として5

例を報告し頸部で聴取される連続性ラ音が上気道の閉塞に由来するものである可能性を示唆している。このように頸部で聴取される連続性ラ音を肺内起源のものと考えてよいか否かは我々臨床医にとって非常に重要で興味ある問題である。

また、日常臨床の場で連続性ラ音の聴取が契機となって気管支狭窄病変が診断されることがあるが<sup>9)</sup>、気管支狭窄によって生ずる連続性ラ音の音響学的性状については未だ十分な検討がなされておらず、その伝播特性について詳細な検討を行った報告はみられない。

今回、著者は気管支喘息患者の連続性ラ音を気管上頸部および左右の前胸壁上で録音して周波数領域ならびに時間領域の相関解析を試みた。また、内視鏡的に気管支狭窄を確認した患者の連続性ラ音についても同様の解析をおこない、両者を比較することによって連続性ラ音の伝播特性を解析し、両者の鑑別の可能性を検討して新しい知見を得たので報告する。

対象および方法

対象は Table 1 に示す 14 例(気管支喘息 8 例, 気管支狭窄 6 例)で、全例気管上頸部および両側前胸部において連続性ラ音を聴取した症例である。症例 1～8 は奈良県立医科大学付属病院第二内科喘息外来に通院中の気管支喘息症例(年齢 31～69 歳, 平均 52.3 歳)で、他の呼吸器疾患が合併する症例や胸部 X 線上明らかな異常を認める症例は除外している。症例 9～14 は内視鏡的に気管支狭

窄を確認し得た症例(年齢 58～71 歳, 平均 65.8 歳)で、気管支喘息の合併や既往のある症例は含まれていない。

14 例全例についてサウンドスペクトログラフ(以下 SG)を用いて収録されたラ音が連続性ラ音であることを確認した。これらの連続性ラ音はいずれも持続時間が 250 ms 以上で、アメリカ胸部疾患学会(ATS)の連続性ラ音の定義<sup>7)</sup>に合致し、持続時間の短い squawk<sup>8)</sup>などは含まれていなかった。

Fig. 1 にラ音の収録と解析の方法を図示した。肺音の収録にはゴム製アダプタを接続したエレクトレットコン

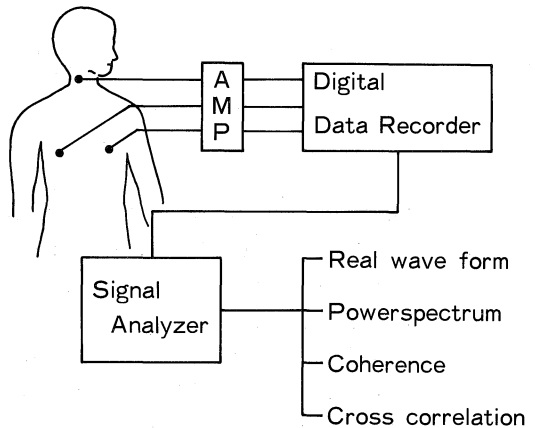


Fig. 1. Schematic diagram of recording and analyzing system.

Table 1. Subjects

| Case | Diagnosis                            | Location of Stenosis | Timing                      | Frequency      | Number of Overtones |
|------|--------------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------|---------------------|
| 1    | Bronchial Asthma                     | ?                    | holoexp.                    | 210Hz          | polyphonic          |
| 2    | Bronchial Asthma                     | ?                    | holoexp.                    | 100Hz          | polyphonic          |
| 3    | Bronchial Asthma                     | ?                    | mid~late exp.               | 410Hz          | polyphonic          |
| 4    | Bronchial Asthma                     | ?                    | holoexp.                    | 250Hz          | polyphonic          |
| 5    | Bronchial Asthma                     | right lung ?         | mid~late exp.               | 120Hz          | 3                   |
| 6    | Bronchial Asthma                     | left lung ?          | mid~late exp.               | 270Hz          | 3                   |
| 7    | Bronchial Asthma                     | right lung ?         | mid~late exp.               | 350Hz          | 3                   |
| 8    | Bronchial Asthma                     | left lung ?          | late exp.                   | 240H.          | 2                   |
| 9    | Squamous Cell Carcinoma              | rt. basal bronchus   | late insp.                  | 410Hz          | 2                   |
| 10   | Squamous Cell Carcinoma              | truncus intermedius  | late insp.<br>mid~late exp. | 140Hz<br>110Hz | 2<br>3              |
| 11   | Squamous Cell Carcinoma              | truncus intermedius  | late exp.                   | 170Hz          | 4                   |
| 12   | Stevens~Johnson Syndrome             | rt. B <sup>1+2</sup> | mid~late insp.              | 380Hz          | 3                   |
| 13   | Stenosis after Right Upper Lobectomy | truncus intermedius  | holoexp.                    | 230Hz          | 1                   |
| 14   | Endobronchial Metastasis             | lt. lower trunk      | mid~late insp.              | 300Hz          | 1                   |

デンサー型小型マイクロホン SONY ECM 150 を使用した。頸部正中線上甲状軟骨の約 1 cm 下方、左右前胸壁鎖骨中線上第 3 肋間の 3 カ所で肺音をピックアップし、これら 3 個の出力をアンプで増幅してデジタルデータレコーダー TEAC RD101T に収録した。このデータレコーダーの特徴は各チャンネル間の位相差が 1.3 μs 以内と非常に小さいことである。録音は全例起坐位でゆっくりと深呼吸をさせておこなった。

デジタルデータレコーダーに収録した信号をシグナルアナライザー岩通 SA 2100A を用いて解析した。まず、連続性ラ音上の 250 ms 分を取り出してそのうちの 125 ms 分を原波形として表示、次に各チャンネルのパワースペクトラムを求め、周波数領域の相関解析として各チャンネル間のコヒーレンスを算出した。さらに時間領域の相関解析として各チャンネルに収録された連続性ラ音の相互相関を求めた。

パワースペクトラムは、5 個の連続性ラ音をそれぞれ 250 ms の時間窓でスペクトラム解析し、それらを平均化する方法で求めた。この方法では、原波形をモニターしつつ 5 個の連続性ラ音から電子スイッチによりできる限り呼吸位相の同じ箇所を取り出すようにして平均化している。

コヒーレンス関数は  $r^2(f) = \frac{|G_{yx}(f)|^2}{G_{xx}(f) \cdot G_{yy}(f)}$  すなわち、クロスパワースペクトラムの 2 乗振幅をそれぞれの信号のパワースペクトラムの積で割ったものと定義される。この関数は二つの信号間の相関の程度を各周

波数ごとに求めたもので、両信号間に完全な相関関係があると  $r^2(f) = 1.0$  となる。今回は 5 個の連続性ラ音からコヒーレンスを求めている。

また、相互相関関数は二つの信号  $x(t)$  と  $y(t)$  のクロスパワースペクトラム  $G_{yx}(t)$  の逆フーリエ変換であり、

$R_{yx}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} G_{yx}(f) e^{j2\pi ft} df$  という積分式で定義され、信号間の時間遅延の測定などに用いられているが、今回は 3 カ所で録音された連続性ラ音相互間の time lag を測定する目的に利用した。

以上に述べた解析方法のまとめを Table 2 に示した。

成 績

気管支喘息患者の連続性ラ音は聴取所見と SG 所見とから二つの pattern に分類された。第一の pattern は症例 1, 2, 3, 4 にみられた polyphonic tone で、ラ音は複数の基音とそれぞれの倍音から成っており、聴感上もラ音の音量に左右差は認められなかった。その中の症

Table 2. Analytical method

|                   |   |
|-------------------|---|
| Real wave form    | 3ch, 250ms  |
| Power spectrum    | frequency range : 1 KHz<br>frequency resolution : 4 Hz<br>sampling window time : 250ms<br>window : rectangular<br>averaging : 1,5 samples |
| Coherence         | averaging : 5 samples   |
| Cross correlation | sampling window time : 25ms   |

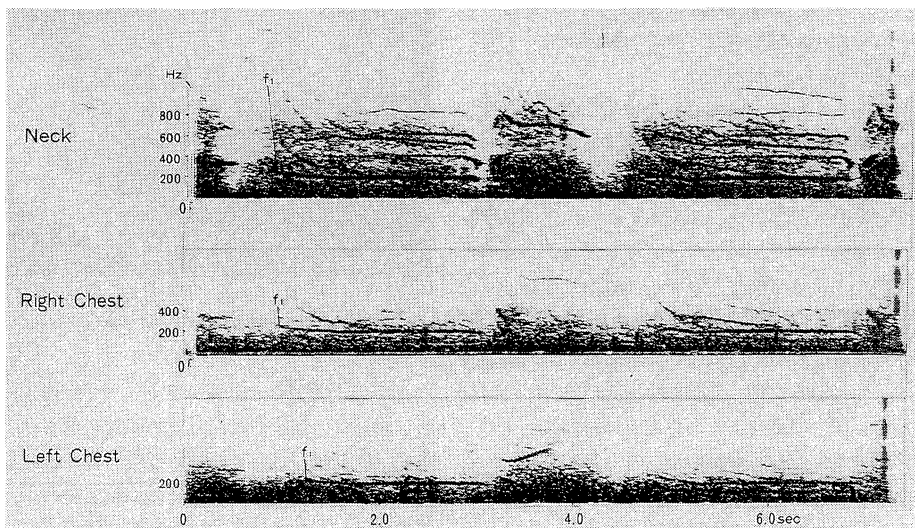


Fig. 2. The sound spectrogram (SG) of Case 1 shows the continuous adventitious lung sounds of about 210Hz and its overtones during expiration. Continuous sounds of other frequencies are also seen. (Ordinate, frequency in Hz; Abscissa, time)

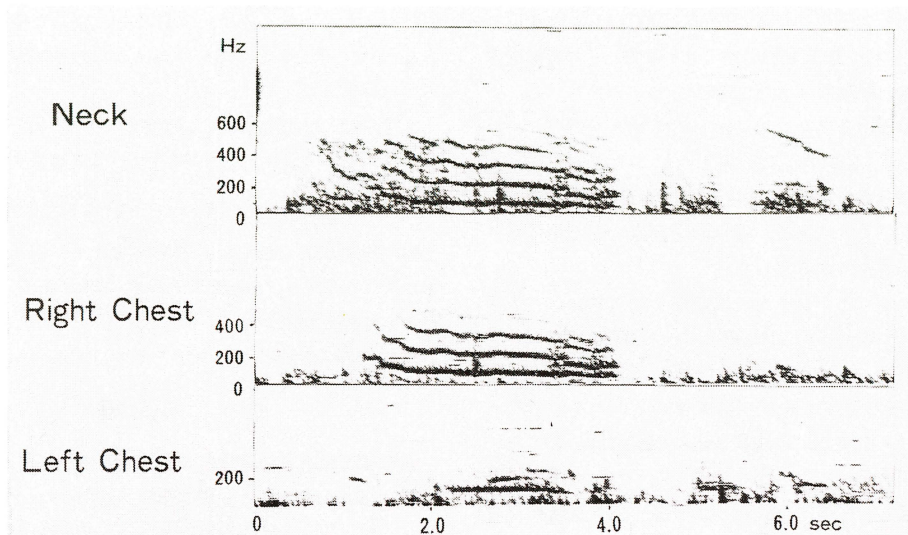


Fig. 3. The sound spectrogram (SG) of Case 5 shows the rhonchus of 120Hz during expiration. At the neck and the right chest, three harmonic overtones are clearly seen above the fundamental. No continuous adventitious lung sounds of other frequency are seen.

例1のSGをFig. 2に示した。第二の pattern は症例5, 6, 7, 8にみられた monophonic tone で、ラ音は1つの基音とその倍音のみから成っている。その中の症例5のSGをFig. 3に示した。この症例5は気管支拡張薬の点滴静注によって発作が軽快しつつある時点での録音であり、聴診でも右前胸部で対側よりも明瞭にラ音が聴取された。症例6, 7, 8はいずれも比較的軽い発作中の録音であった。なお、気管支喘息8症例全例の連続性ラ音はいずれも呼気相に聴取され、気管上頸部において最もラ音が明瞭で音量も大きかった。

一方、気管支狭窄の症例は肺扁平上皮癌3例、転移性肺癌1例、癒痕性狭窄1例、右上葉切除後の狭窄1例の計6症例であるが、内視鏡的には音源と考えられた狭窄部位はいずれもII次気管支までの中樞にあり、その狭窄は高度で、吸気時に辛うじてファイバースコープが通過した1例を除いては狭窄部位より末梢の観察は困難であった。症例9は扁平上皮癌であり、内視鏡ではPlate 1に示したように右底幹の著明な狭窄が認められた。同症例のSGはFig. 4に示したが、典型的な monophonic tone であり、ラ音は単一の基音とその整数倍の周波数をもつ倍音とから成りそれ以外の周波数のラ音はみられない。症例9では内視鏡的に気道狭窄が確認された側の胸壁上で対側よりも明瞭に連続性ラ音が聴取されたが、Fig. 4でも明らかのようにこの連続性ラ音は気管支頸部において最も音量が大きく倍音成分も豊かであった。症例10～

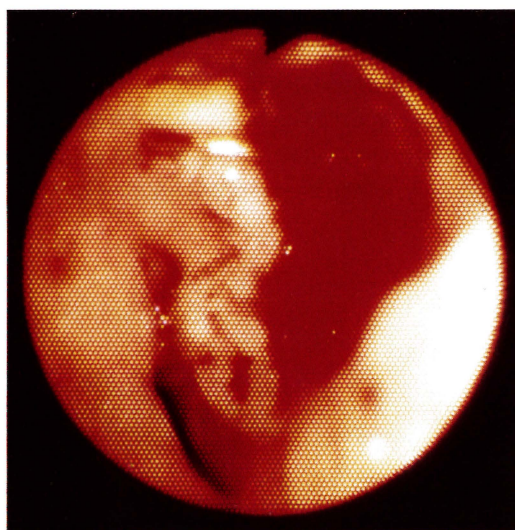


Plate 1. Bronchoscopic findings of Case 9. Right basal bronchus is narrowed by tumor.

14の5例の連続性ラ音もいずれも monophonic tone を呈し前胸壁の聴診では左右差が明らかであり、症例9と同様気管上頸部で最も明瞭に聴取された。なお、気管支狭窄6症例の連続性ラ音は3例が吸気相のみ、2例が呼気相のみ、1例が吸気・呼気両相に聴取された。

polyphonic tone を呈した症例1, 2, 3, 4のパワースペクトラムおよびコヒーレンスはいずれもほぼ同様の

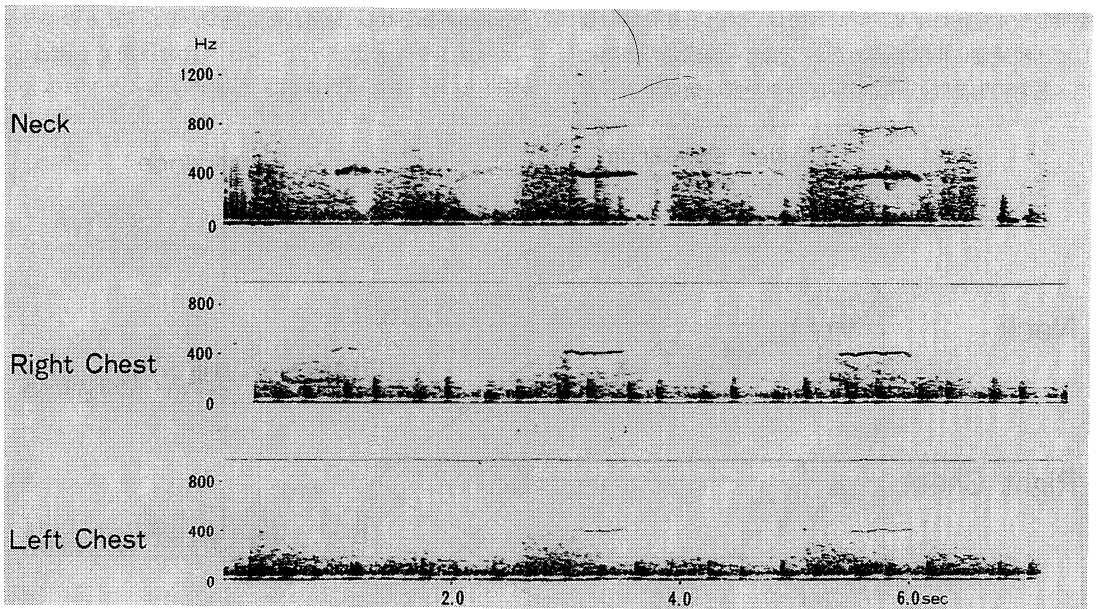


Fig. 4. SG of Case 9 shows the continuous adventitious lung sounds of about 410Hz and two overtones at the neck during inspiration. At the right chest the fundamental is clear, but at the left chest the fundamental is very weak.

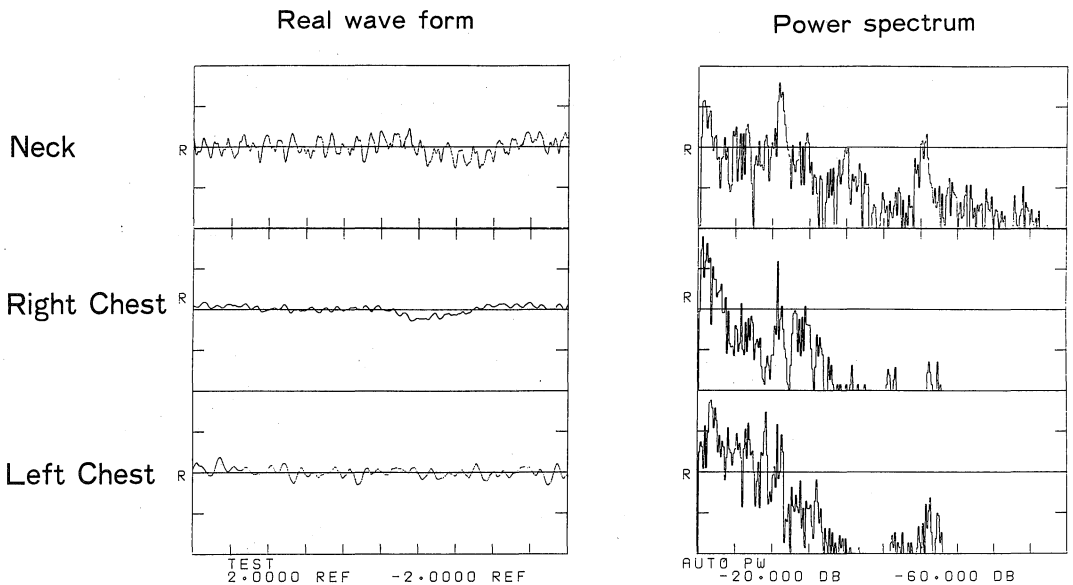


Fig. 5. Real wave forms and power spectrum of Case 1. The real wave forms (left side) are shown for a period of 125ms. The amplitude of the wave form at the neck is shown as a quarter of the actual amplitude. The power spectrum of each position (right side), calculated by selecting one sample of continuous sounds, is shown on a logarithmic scale from 0 to 100Hz.

patternを示したのでその一例として症例1のパワースペクトラムをFig. 5に示したが、頸部で基本周波数のpeakは認められるものの倍音に一致するpeakは不明

瞭である。Fig. 6に示した症例1のコヒーレンスでは基音に一致して頸部-右胸部、頸部-左胸部、左右両胸部間のそれぞれに弱い相関が認められた。polyphonic tone

を呈した4症例のコヒーレンスではいずれも基音に一致して比較的弱い相関を認めたが、頸部-胸部間の相関に比べ左右両胸部間の相関の程度はやや低い傾向であった。

monophonic tone を呈した症例5, 6, 7, 8のパワースペクトラムおよびコヒーレンスはほぼ同じ pattern を示したのでその中の症例5のパワースペクトラムを

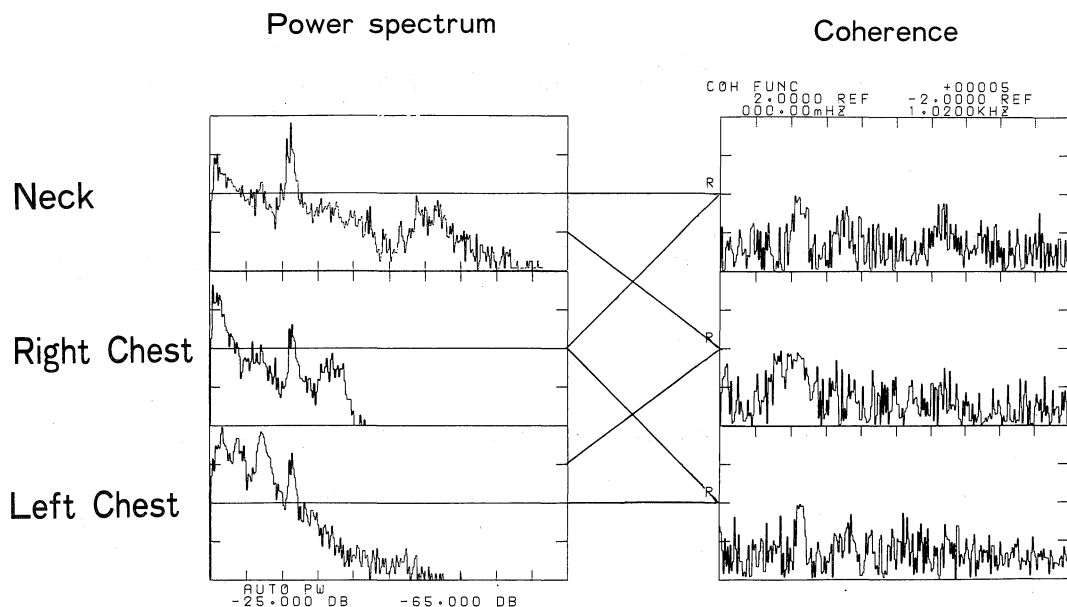


Fig. 6. Power spectrum of each position (left side) and the coherence functions between the two positions (right side) of Case 1. Data are the means of five samples of five different sounds, and the length of each sample is 250ms. The upper right shows the coherence between the neck and the right chest, the middle section between the neck and the left chest, and the lower section between both chests. The coherence function value between the neck and the right chest is high at 210Hz. (Abscissa, frequency in Hz from 0 to 1000Hz)

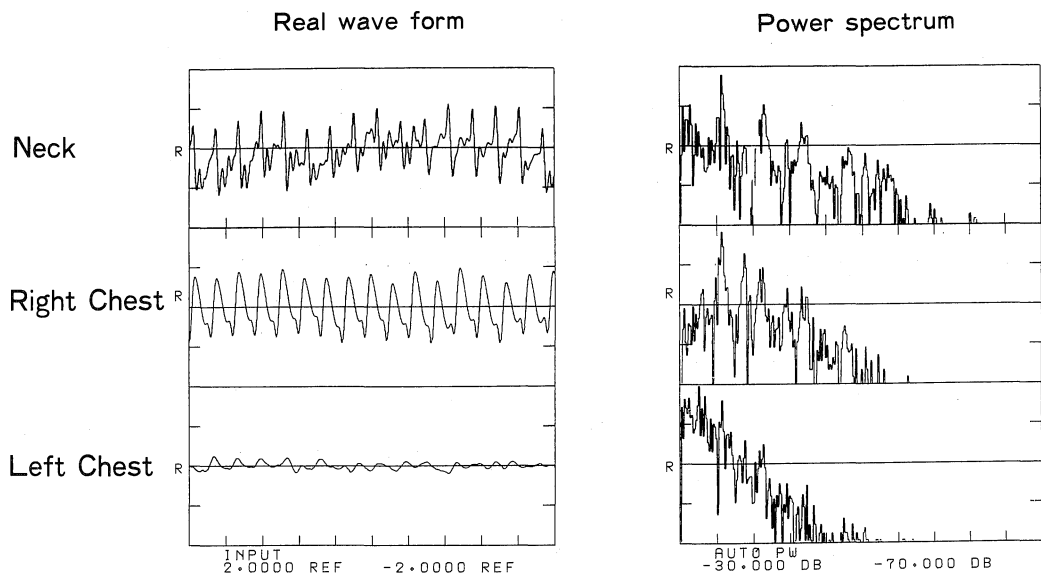


Fig. 7. Real wave forms and power spectrum of Case 5. The peak frequency is about 120Hz, and the peaks of the overtones are clearly seen.

Fig. 7 に示したが、基音と倍音に一致する peak がみられた。症例 5 のコヒーレンスは Fig.8 に示した通りであるが、頸部-右胸部間で基音と三つの倍音に一致する周波数帯域においてコヒーレンスの値が 0.9 以上となり、

頸部のラ音と右前胸部で聴取されたラ音の強い相関が示唆された。頸部-左胸部間にも弱い相関がみられたが、左右両胸部間にはほとんど相関を認めなかった。monophonic tone を呈した気管支喘息 4 症例のコヒーレンス

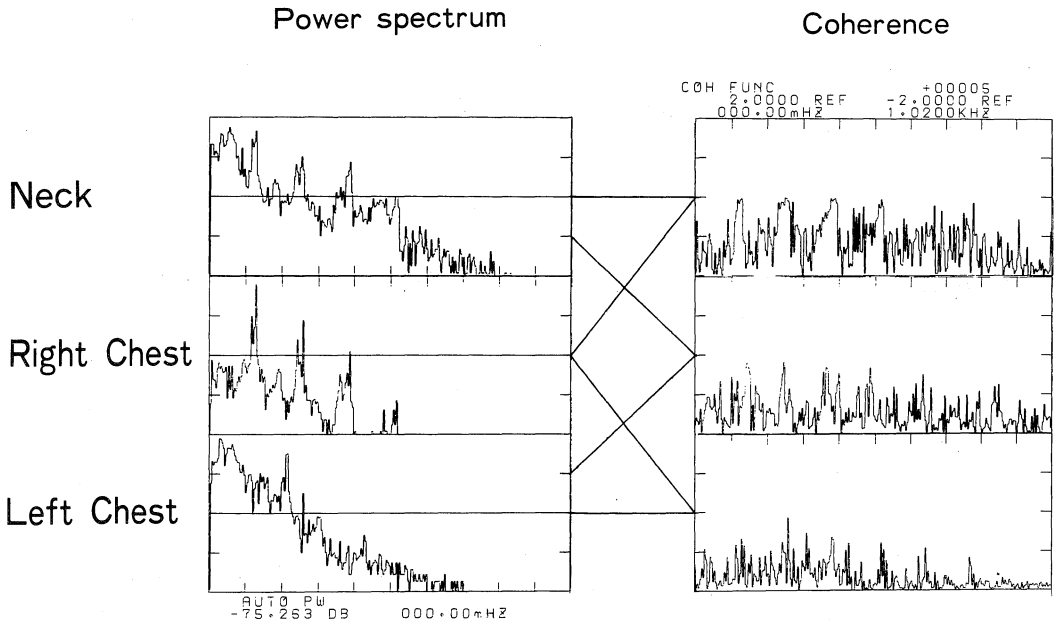


Fig. 8. Power spectrum and the coherence of Case 5. The coherence function values between each two positions are relatively high at the fundamental frequency and three overtones.

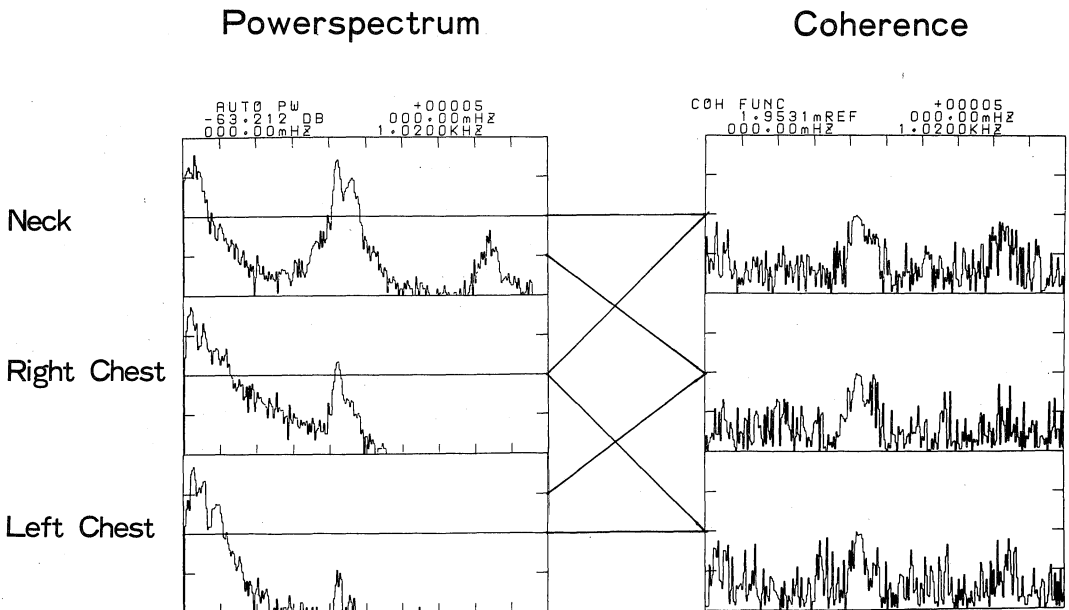


Fig. 9. Power spectrum and the coherence of Case 9. The coherence function value for within the range of the fundamental is highest between the neck and the right chest, and lowest between both chests.

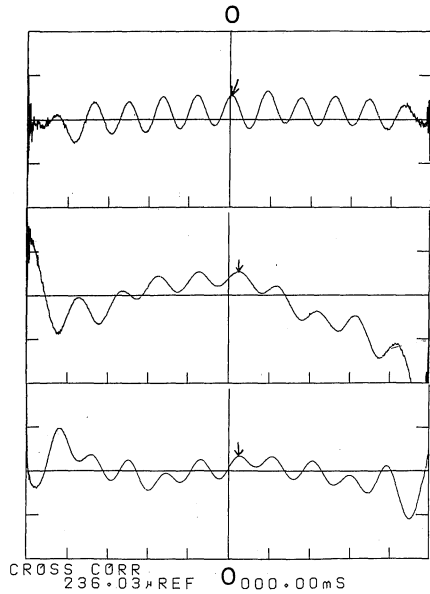
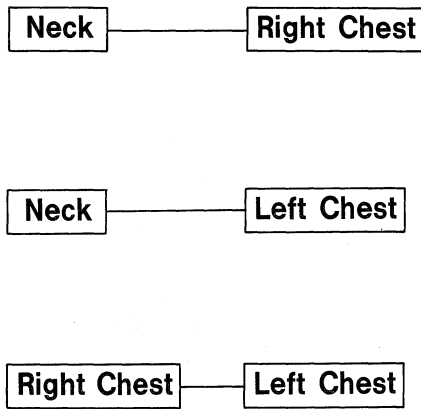


Fig. 10. Cross correlation function of Case 9. The top section is the cross correlation between the neck and the right chest, the middle section between the neck and the left chest, the bottom section between both chests.

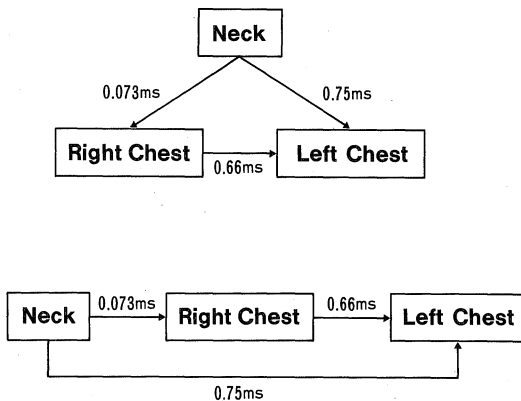


Fig. 11. Time lag between the continuous sounds recorded on the two positions of Case 9.

では、頸部のラ音と左右いずれかの前胸部のラ音との間に強い相関が認められた。

Fig. 9 に示した症例 9 のコヒーレンスでは基本周波数の帯域での強い相関が示唆された。頸部一右胸部間の相関が最も強く、この症例では右底幹狭窄部から発生した連続性ラ音が頸部に極めて良く伝播しており、対側胸部にも弱いながら伝播していることが確認された。症例 10~14 のコヒーレンスも、頸部の連続性ラ音と狭窄側前胸部の連続性ラ音との強い相関を示した。

次に症例 9 の各部位で収録された連続性ラ音の相互相関解析をおこなった。Fig. 10 に各部位で収録したラ音間の相互相関関数を示したが、連続性ラ音は元来周期的な信号であるためその周期に一致する間隔ごとに peak がみられた。この peak のいずれかが二つの部位で収録されたラ音間の time lag を表すことになるが、今までに測定されている呼吸器系の音響振動伝播速度から判断して 0 点から最も近い peak がこの time lag を表すものと考えた。症例 9 の各部位で収録された連続性ラ音の間の time lag は Fig. 11 のようになり、ほぼ矛盾のない相互相関が成立した。また、症例 10~14 の相互相関解析の結果は Fig. 12 に示したが、いずれも矛盾のない time lag の相互相関が成立した。

一方、気管支喘息の 8 症例についても相互相関解析を行ったが、各症例とも三つの相互相関関数のどの peak をとって最大 time lag が他の二つの time lag の和に一致せず、気管支狭窄症例で確認されたような time lag の相互相関は成立しなかった。

### 考 察

1978 年、Forgacs<sup>9)</sup> は基本周波数および呼吸位相における出現時期がともに一定の連続性ラ音を fixed monophonic wheeze と呼び、腫瘍、異物、瘢痕等による中樞側気管支の不完全な閉塞が原因であるとしている。これ



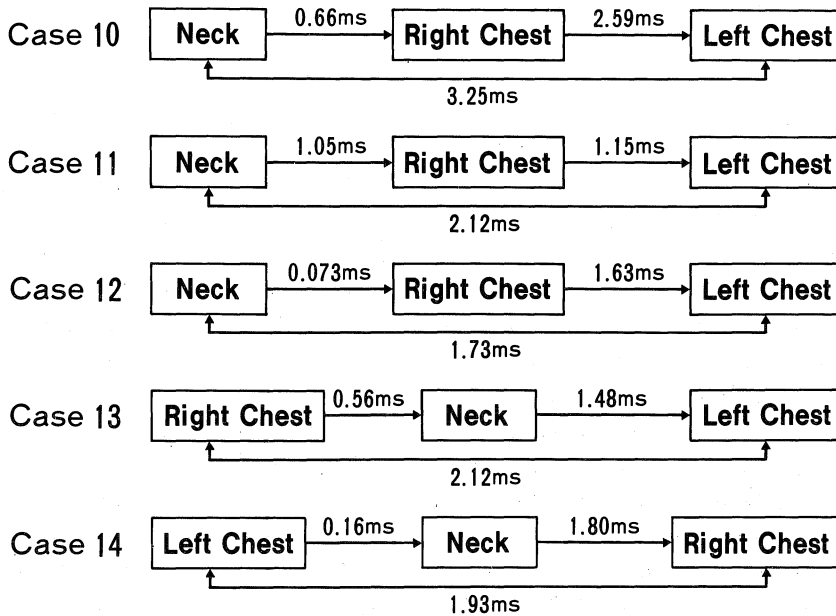


Fig. 12. Results of the cross correlation analysis.

に対して気管支喘息の連続性ラ音を random monophonic wheeze と呼んでいるが、random とは呼吸位相におけるラ音の出現時期および持続時間がそれぞれ異なることを意味すると理解されるものの、基本周波数の異なる複数のラ音が聴かれることの多い気管支喘息のラ音を monophonic としたことで、現在に至るまでこの wheeze の分類は理解し難いものとなっている。

今回の検討では SG 所見から、主として基本周波数とその倍音のみから成るものを monophonic tone、それ以外の周波数のラ音が混在するものを polyphonic tone として気管支喘息の連続性ラ音を二つの pattern に分類した。monophonic tone を認めた症例はいずれも比較的軽度の発作中、発作の初期、あるいは軽快しつつある時点での録音であり、前胸壁での聴診上連続性ラ音の強さに左右差を認めた。これに対して polyphonic tone を聴取した症例はいずれも中等度の発作中の録音で、ラ音の音量に明らかな左右差は認めなかった。一方、気管支狭窄による連続性ラ音はいずれも monophonic tone であり、内視鏡下に確認した狭窄側の胸壁上で対側よりも明瞭に連続性ラ音が聴取された。したがって、聴診あるいは SG 所見のみによって monophonic な気管支喘息患者ラ音と気管支狭窄による連続性ラ音とを判別することは困難であると思われた。しかし、気管支喘息患者に聴取された monophonic tone は発作の消失過程あるいは軽度の発作中にみられ、病態の推移とともにいずれも比較的短

時間で polyphonic tone に移行、あるいは消失しており、数日以上にわたって左右差のある monophonic tone を聴取する場合には気管支狭窄病変の存在を疑う必要があると考えられた。気管支狭窄による連続性ラ音の伝播に関して詳細な検討を行った報告はないが、気管支喘息患者のラ音伝播については 1981 年竹澤<sup>9)</sup>が SG を用いた解析をおこない、胸壁上で検出された連続性ラ音の 89% は気管上頸部でも認められ、連続性ラ音は対側胸壁上よりも気管上頸部へより伝播し易い性質をもつことを報告した。しかし、これは SG のみによる定性的な検討であり、また頸部で聴取される連続性ラ音が肺内起源のものであるという証明がなされていなかった。今回のコヒーレンス解析の結果、内視鏡的に確認された気管支狭窄による連続性ラ音は頸部—狭窄側胸部間の相関が極めて高く、肺内起源の連続性ラ音が気管上頸部に伝播し得ることが初めて証明された。また、対側胸壁上よりも気管上頸部への伝播性が高いことを今回の検討によって定量的に確認することができた。さらに、monophonic tone を呈する気管支喘息患者ラ音も気管支狭窄の場合と同様に一側胸部—頸部間の相関性が非常に高いことから、この連続性ラ音も主として左右いずれかの肺内で発生して気管上頸部によく伝播しているものと考えられた。これは主に、肺内で発生したラ音が前胸壁上に到達するためには low pass filter<sup>9)10)11)</sup>と言われる肺・胸壁を通過しなければならないのに対し、気管支—気管—気管上頸部とい

う経路では low pass filter を經由しないため、と推測される。

一方、polyphonic tone を呈する気管支喘息患者ラ音はコヒーレンス解析において頸部-右胸部、頸部-左胸部間の相関にほとんど差を認めず、主としてどちらの肺内で発生したかを同定することは困難であった。基本周波数の異なるラ音が別々の音源から発生していると考えれば、両側の気道内に複数の音源が存在しているのが妥当であろう<sup>12)</sup>。いずれにせよ、頸部-胸部間の相関性は左右両胸部間の相関と同等もしくはそれ以上であり、polyphonic tone を呈する連続性ラ音も気管上頸部への伝播性は比較的良好であると考えられる。

Rodenstein<sup>13)</sup>は内視鏡下に声門の狭窄を認めた症例で expiratory polyphonic wheeze を聴取したと述べているが、このラ音は喉頭上で最も音量が大きく、気管上頸部では減弱し、胸壁上ではほとんど聴取しなかったとしている。Christopher<sup>5)</sup>も vocal cord dysfunction presenting as asthma として 5 例を報告しており、頸部で聴取された連続性ラ音が胸壁上にも伝播すると述べている。しかし、これらの報告ではいずれも音響学的解析がおこなわれておらず、ラ音の性状や伝播特性の詳細は不明である。今回の検討における気管支狭窄症例では内視鏡的に喉頭や声門に異常のないことを確認しており、気管支喘息症例でも flow-volume 曲線での上気道閉塞 pattern はみられず、今回の検討には上気道閉塞の症例は一例も含まれていない。なお、上気道閉塞によって生ずる連続性ラ音に関しては今後さらに検討が必要であると思われる。

連続性ラ音の発生機序に関しては様々な検討があるが、Forgacs<sup>6)</sup>は He-O<sub>2</sub> 混合ガス吸入時も空気吸入時と比べ wheeze の周波数に変化がみられないことから、wheeze は気道壁自身の振動によって発生すると考えた。また、Grotberg<sup>14)</sup>は弾性をもつ管壁と管内に生ずる渦流との共振を想定したモデルによって理論的な解析をおこない、wheeze は気道内の気流速度がある臨界値に達した時に発生すると述べた。したがって、連続性ラ音の発生にはある程度の気流速度が必要であり、一般にその音源は比較的中枢の気道にあると考えられている<sup>15)</sup>。今回の検討でも、気管支狭窄症例では全例音源と考えられる狭窄部位が区域枝までの中枢にあり、このことを考慮すると、気管上頸部への良好な伝播性を有する連続性ラ音は気管支喘息の場合も比較的中枢の気道から発生しているものと推測される。

今回の検討では時間領域の相関解析として相互相関解析を試みた。工藤<sup>16)</sup>は犬を用いた検討で、呼吸器系の音

響振動伝播速度を肺 74 m/sec、胸壁 20~30 m/sec、太い気道内はほぼ音速と述べており、Rice<sup>17)</sup>も馬摘出肺の実験をおこなってこれに近いデータを報告した。これらにしたがうと、症例 9 の場合右底幹狭窄部位から各収録部位への連続性ラ音の到達時間の差は 2~3 msec までと推定されるため、Fig. 10 の 0 点から最も近い相互相関関数の peak がそれぞれの time lag を表すものと考えた。症例 9 では左前胸部より右前胸部の収録部位へ先にラ音が到達するはずであり、右胸部-左胸部間では矢印のポイントが time lag を表すことになり、連続性ラ音は左前胸部へ達するよりも 0.66 ms 早く右前胸部へ到達したものと考えられた。また、頸部および左前胸部への到達時間を考えると、一方が右底幹-中間気管支幹-右主気管支-気管-気管上頸部という肺・胸壁を經由しない経路をとるのに対し、右底幹から気管分岐部-左主気管支-左肺を経て左前胸壁上に達する経路はより長い通過時間を要すると考えられるため、頸部で収録された連続性ラ音の方が左前胸部の連続性ラ音よりも先行していることになり time lag は 0.75 ms と測定された。頸部および右胸部に関しては、右底幹から気道経由で気管上頸部まで達するのに要する時間と右肺・胸壁を經由して右前胸壁上に到達する時間との比較になり判断が難しいが、頸部の連続性ラ音の方が先行していると仮定するとその time lag は 0.073 ms であり、各部位で収録された連続性ラ音の間の time lag は Fig. 11 のようになった。すなわち、この症例では右底幹狭窄部で発生した連続性ラ音がまず気管上頸部で聴取され、0.073 ms 遅れて右前胸部で、さらに 0.66 ms 遅れて左前胸部でそれぞれ聴取されたことになる。

この方法で 14 例全例について相互相関解析をおこなったが、気管支狭窄の症例ではいずれも最大の time lag が他の二つの time lag の和に一致したのに対し、気管支喘息症例では polyphonic tone, monophonic tone にかかわらずこの関係は成立しなかった。この事実は気管支狭窄による連続性ラ音と monophonic tone を呈する気管支喘息患者ラ音の鑑別に有用であると考えられた。気管支狭窄による連続性ラ音は単一の音源から発生する比較的 pure な正弦波であるのに対し、気管支喘息患者ラ音は SG 上 monophonic tone を呈する症例でも実際には単一の音源から発するラ音だけでなく SG で明瞭に区別できない他のラ音の影響もあって各部位で収録した連続性ラ音の波形が少しづつ異なる傾向があるのではないかと推測した。

コヒーレンス解析は二つの信号間の因果性の度合いを評価するものであり、Gavriely<sup>18)</sup>や神鳥<sup>19)</sup>が気管呼吸

音や肺胞呼吸音の音源推定の目的などに利用しているが、この手法を連続性ラ音の伝播特性の解析に利用した報告はこれまでにみられない。また、相互相関解析は二つの信号間の time lag を求めるためのものであり、Kraman<sup>20)</sup>はこの手法を用いて健常人の口腔から入れたホワイトノイズが胸壁上に到達する時間の測定をおこなっているが、この手法を利用して気管支喘息患者ラ音と気管支狭窄による連続性ラ音との鑑別を試みたのは本報告が最初である。今後はこれらの新しい知見を活用することによって連続性ラ音の伝播特性をより定量的、客観的に評価することが可能になるものと考えられる。

## 結 語

気管支喘息患者ラ音の音響学的性状を解析し、その伝播特性につきコヒーレンス解析および相互相関解析の手法を用いて気管支狭窄による連続性ラ音と比較検討した。

- 1) 気管支狭窄による連続性ラ音は気管上頸部への伝播性が極めて良好であることが明らかになった。したがって、肺内で発生した連続性ラ音が気管上頸部に伝播し得ることが今回初めて証明された。
- 2) 気管支喘息患者の連続性ラ音はSG所見から monophonic tone と polyphonic tone とに分類することができた。monophonic tone は気管上頸部への良好な伝播性を有しており対側胸部にも弱いながら伝播するものと考えられ、polyphonic tone も気管上頸部への比較的良好的な伝播性を有する傾向が認められた。すなわち、気管上頸部は連続性ラ音の聴診部位として極めて重要であることをこれまでの定性的な方法ではなく定量的な方法によって示した。
- 3) 相互相関解析の手法が気管支喘息患者の連続性ラ音と気管支狭窄による連続性ラ音との鑑別に有用であるという新しい知見を得た。

なお、本稿の要旨は第14回国際肺音学会(1989年、カナダ)および第30回日本胸部疾患学会総会(1990年、東京)、第31回同総会(1991年、大阪)において発表した。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を戴いた第2内科学教室成田亘啓教授、御校閲を賜った第2生理学教室榎 泰義教授、腫瘍放射線医学教室大石 元教授に深謝申し上げます。また研究の遂行について終始御指導を戴いた通産省工業技術院繊維高分子材料研究所・第2内科学教室講師渋谷淳夫博士、第2内科学教室塩谷直久講師、中谷泰弘博士に心から感謝致します。御協力を賜った第2内科学教室諸兄姉に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Kunica, E. S., Holford, S. K., Dewey, C. F. Jr. and Murphy, R. L. H. Jr.: The distribution of fine and coarse discontinuous adventitious lung sounds over the chest wall. Proceeding of Fifth International Conference on Lung Sounds, London, 1980.
- 2) 富田友幸: 呼吸器疾患の臨床診断的アプローチ. 日本医事新報 2815: 8~13, 1978.
- 3) 竹澤祐一, 白井史朗, 澤木政好, 三上理一郎, 工藤翔二, 渋谷淳夫, 相坂 登: サウンドスペクトログラフを用いた肺音図法による気管支喘息患者ラ音の解析—換気動態とラ音伝播について. 日胸疾会誌. 19: 999~1005, 1981.
- 4) Collet, P. W., Brancatisano, A. P. and Engel, L. A.: Upper airway dimensions and movements in bronchial asthma. Am. Rev. Resp. Dis. 133: 1143~1149, 1986.
- 5) Christopher, K. L., Wood, R. P., Eckert, R. C., Blager, F. B., Raney, R. A. and Souhrada, J. F.: Vocal cord dysfunction presenting as asthma. N. Engl. J. Med. 308: 1566~1570, 1983.
- 6) Forgacs, P.: Lung Sounds. Bailliere Tindall, London, 1978.
- 7) American Thoracic Society Ad Hoc Committee on Pulmonary Nomenclature: Up dated nomenclature for membership reaction. ATS news Fall 3: 5~6, 1977.
- 8) 小山泰弘, 塩谷直久, 成田亘啓, 渋谷淳夫, 工藤翔二, 三上理一郎: “Squawk”の音響学的解析. 日胸疾会誌. 25: 880~887, 1987.
- 9) 毛利昌史, 本田憲業, 木下幸次郎, 森成 元, 白石透, 小池繁夫: 肺聴診の基礎と臨床. 日胸. 40: 898~905, 1981.
- 10) Gavriely, N., Palti, Y. and Alroy, G.: Spectral characteristics of normal breath sounds. J. Appl. Physiol. 50: 307~314, 1981.
- 11) 塩谷直久, 竹澤祐一, 三上理一郎, 工藤翔二, 渋谷淳夫: 口腔から与えた正弦波音による呼吸器系の音響伝播の検討. 日胸疾会誌. 22: 125~130, 1984.
- 12) 努川 靖, 吉田 豊: 気管支喘息児における連続性ラ音の音響学的解析. 日気食会報. 41: 118~128, 1990.
- 13) Rodenstein, D. O., Francis, C. and Stanescu, D.

- C. : Emotional laryngeal wheezing-A new syndrome. *Am. Rev. Resp. Dis.* **127** : 354~356, 1983.
- 14) **Grotberg, J. B. and Davis, S. H.** : Fluid dynamic flapping of a collapsible channel ; sound generation and flow limitation. *J. Biomechanics* **13** : 219~230, 1980.
- 15) 富田友幸, 阿部 直, 楠原範之 : Expiratory wheeze と閉塞性換気障害. *呼吸* **8** : 293~297, 1989.
- 16) 工藤翔二, 渋谷淳夫, 長山直弘, 北村 諭, 小坂樹徳 : 気管支内火花放電法による肺・胸郭系の音響振動伝播速度の計測. *臨床呼吸生理.* **13** : 127~131, 1981.
- 17) **Rice, D.** : Sound speed in pulmonary parenchyma. *J. Appl. Physiol.* **54** : 304~308, 1983.
- 18) **Gavriely, N.** : Generation and transmission of lung sounds —A study in dried, inflated, dog lung model. *Am. Rev. Resp. Dis.* **127** : 258, 1983.
- 19) 神鳥明彦, 八木晋一, 中山 淑 : 呼吸音発生部位推定の基礎研究. *Ther. Res.* **11** : 1873~1879, 1990.
- 20) **Kraman, S. S.** : Speed of low frequency sound through lungs of normal men. *J. Appl. Physiol.* **55** : 1862~1867, 1983.