

胸膜下病変の質的診断に対する 超音波パワードプラー法の臨床応用

奈良県立医科大学第2内科学教室

浜崎直樹

CLINICAL APPLICATION OF POWER DOPPLER SONOGRAPHY FOR THE QUALITATIVE DIAGNOSIS OF SUBPLEURAL LESIONS

NAOKI HAMAZAKI

Second Department of Internal Medicine, Nara Medical University

Received October 13, 1999

Abstract: The purpose of this investigation was to assess the usefulness of power Doppler sonography (PDS) for the qualitative diagnosis of subpleural lesions in comparison with color Doppler sonography (CDS). Sixty-seven lesions (36 pneumonias, 8 pulmonary abscesses, 17 primary lung cancers, 6 metastatic lung cancers) were examined. Color flow patterns of subpleural lesions depicted by color flow imaging were classified into seven groups. PDS was better than CDS in the ability of showing color flow. Color flow patterns of pneumonias obtained in PDS differed significantly from patterns of lung cancers. Color flow patterns of the benign groups obtained in PDS differed significantly from patterns of the malignant group. These findings illustrated the usefulness of PDS as a means of diagnosing benign and malignant subpleural lesions.

(奈医誌. J. Nara Med. Ass. 50, 497~508, 1999)

Key words: ultrasonography, color Doppler imaging, power Doppler imaging, subpleural lesion

緒 言

呼吸器疾患に対する超音波診断法(以下US)の臨床応用の歴史は古く、特に胸膜下に含気を有する肺が介在しない病変群が良い適応であり広く活用されてきた¹⁻¹⁰⁾。すなわち、胸水の存在、肺内病変の胸壁への波及、US誘導下穿刺、無気肺の原因疾患、肺癌の胸膜進展P因子の評価の診断などに対してである。一方、超音波カラードプラー法の普及にともない、生理的状況下で非侵襲的に病変の血流が捉えられる本手法が各種臓器における質的診断に導入され¹¹⁻¹⁶⁾、呼吸器疾患とくに胸膜下病変の診断においても病変部における血流信号表示の有無やFFT (fast fourier transformation)解析を用いた血流性状による診断的有用性も散見されるようになってきた¹⁷⁻²¹⁾。しかしこれらの研究の多くは一般的に用いられているカ

ラードプラー速度表示法(color Doppler sonography, 以下速度表示法)によるものである。この速度表示法では、低流速の血流表示や超音波ビームと直交する血流信号の表示に限界があり、病変内血流信号の検出は比較的太いもののみがカラー表示され、細い血管内や流速の遅い血流信号は通常カラー表示されない。

一方、Rubinら²²⁾により開発され近年普及しつつあるカラードプラーパワー表示法(power Doppler sonography, 以下パワー表示法)は文字どおりパワーそのものの強さに応じてカラー表示する方法でS/N比が改善し、低流速の血流信号検出感度が著しく向上する。さらに超音波ビームと直交する血流信号の表示も可能となることから病変内血流信号の検出は鋭敏となる。すでに腎血流信号描出能や各種悪性腫瘍内血流信号描出能においてもパワー表示法が速度表示法を上回っていること²³⁻²⁹⁾、軟

部組織の血流量評価の診断においてパワー表示法が有用であること³⁰⁾などが報告されている。

このパワー表示法を呼吸器領域でも表示可能とする報告やUS誘導下穿刺に利用した報告はあるが³¹⁻³³⁾、診断に応用した臨床研究はみられない。そこで本研究では胸膜下病変診断に対するパワー表示法の臨床評価を行う目的で、胸膜下病変内の血流検出能について速度表示法とパワー表示法を対比し、血流信号表示の多寡と形態と各種疾患との関連性を分析した。

対象と方法

対象は、画像検査、血液検査、病理検査で診断した胸膜下病変を有する67症例で、良性群44例(肺炎36例、肺膿瘍8例)、悪性群23例(原発性肺癌17例、転移性肺癌6例)である。原発性肺癌の組織型は扁平上皮癌10例、腺癌4例、小細胞癌3例で転移性肺癌の原発巣は肝細胞癌2例、胃癌1例、膵臓癌1例、大腸癌1例、腎盂癌1

例である。原発性肺癌は全例気管支鏡下生検で診断、転移性肺癌は確定診断された原発臓器癌の存在のもとに全例画像診断により診断した。男性39例、女性28例、年齢は17歳~93歳で平均年齢は56.7歳、超音波Bモード法による病巣の最大径は、悪性群は11~71mmで平均39.9mm、良性群は16~71mmで平均35.4mmである。

方法は胸壁から胸膜下病変に探触子を当て超音波Bモード法で観察後、速度表示法とパワー表示法により観察した。得られた血流信号を、病変内血流信号の多寡と形態により7種類の型に分類した(Fig. 1)。

○型：病巣内に血流信号が捉えられない。

I型：病巣内に点状血流信号が捉えられる。

II型：病巣内に線状血流信号が捉えられる。

III-A型：病巣内に枝状血流信号が捉えられる。

III-B型：病巣内に枝状血流信号が捉えられ、枝状血流信号の一部が屈曲、蛇行。

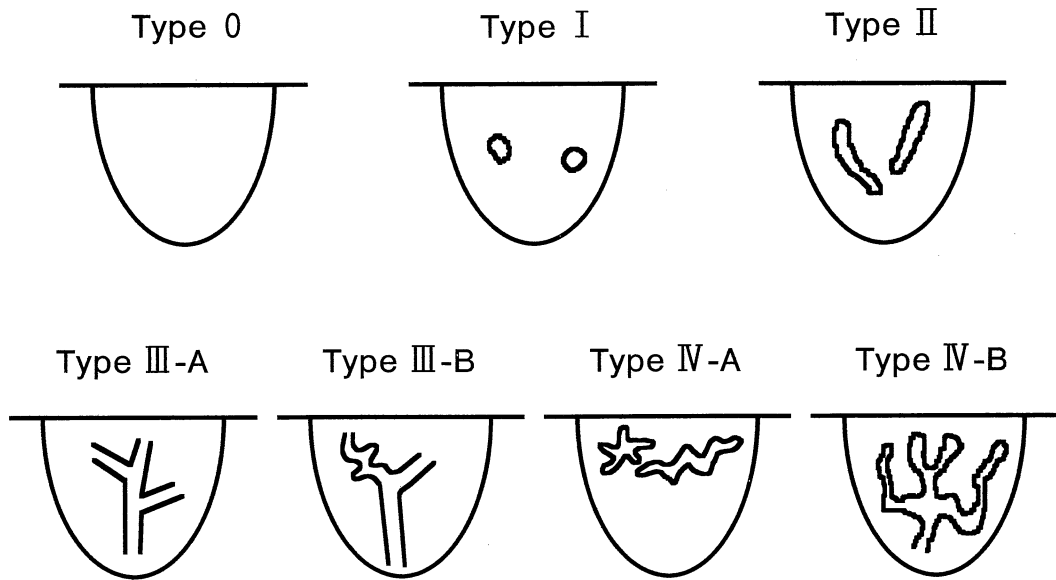


Fig. 1. Classification of color Doppler imaging patterns for subpleural lesions.

Type 0 : no color flow

Type I : spotty color flow

Type II : linear color flow

Type III : branched color flow

Type III-A : branched color flow

Type III-B : branched color flow but partially tortuous flow

Type IV : tortuous color flow

Type IV-A : partially tortuous color flow

Type IV-B : generally tortuous color flow

IV-A型：病巣内の一部分に屈曲，蛇行する血流信号が捉えられる。

IV-B型：病巣内全体に屈曲，蛇行する血流信号が捉えられる。

その上で、1) 速度表示法とパワー表示法による病巣内血流信号描出能の比較、2) 各種疾患ならびに良・悪性とカラードブラ法により捉えられた血流信号型との関連についてを検討した。

カラーゲインは症例毎にアーチファクトが出ない最大値に調節した。使用機種は、GE-横河 LOGIC 500 で、主に 7.5 MHz のリア探触子と 3.75 MHz のコンベックス探触子とを使用した。

本研究の統計学的検討は Fisher's exact test を用い危険率 1%未満を有意差ありとした。

結 果

1) 速度表示法とパワー表示法による病巣内血流信号描出能の比較

速度表示法の血流信号型は、O型 8例、I型 13例、II

型 29例、III型 17例、パワー表示法では、I型 4例、II型 9例、III型 36例、IV型 18例であった。パワー表示法では全症例に病巣内部に血流信号を認め、III型、IV型を示した頻度は速度表示法の 24.5%に対しパワー表示法では 80.6%を示した(Table 1)。また 67例中速度表示

Table 2. Combination of color flow patterns of subpleural lesions by color Doppler velocity and power mode

Velocity mode	Power mode	Number
0	I	2
0	II	3
0	III-A	1
0	III-B	1
0	IV-A	1
I	I	1
I	II	4
I	III-A	2
I	IV-A	4
I	IV-B	2
II	I	1
II	II	2
II	III-A	16
II	III-B	4
II	IV-A	3
II	IV-B	3
III-A	III-A	11
III-A	III-B	1
III-A	IV-A	1
III-A	IV-B	3
III-B	IV-B	1

Table 1. Comparison of classification of color flow patterns of subpleural lesions examined by color Doppler velocity and power mode

Color Doppler Color flow pattern	Velocity mode	Power mode
Type 0	8	0
Type I	13	4
Type II	29	9
Type III	17	36
Type IV	0	18

Table 3. Relation between color flow patterns of subpleural lesions with pulmonary disease examined by color Doppler velocity mode

Color flow pattern Disease	0	I	II	III-A	III-B	Total
Pneumonia	4	3	18	11		36
Pulmonary abscess		2	4	2		8
Primary lung cancer	2	6	7	2		17
Metastatic lung cancer	2	2		1	1	6

} N.S

Table 4. Relation between color flow patterns of subpleural lesions with pulmonary disease examined by color Doppler power mode

Color flow pattern Disease	I	II	III-A	III-B	IV-A	IV-B	Total
Pneumonia	3	5	25	3			36
Pulmonary abscess		1	5	1	1		8
Primary lung cancer				2	8	7	17
Metastatic lung cancer	1	3				2	6

※ p<0.01

Table 5. Relation between color flow patterns of subpleural lesions with benign and malignant group examined by color Doppler velocity mode

Color flow pattern Group	0	I	II	III-A	III-B	Total
Benign group	4	5	22	13		44
Malignant group	4	8	7	3	1	23

N.S

Table 6. Relation between color flow patterns of subpleural lesions with benign and malignant group examined by color Doppler power mode

Color flow pattern Disease	I	II	III-A	III-B	IV-A	IV-B	Total
Benign group	3	6	30	4	1		44
Malignant group	1	3		2	8	9	23

※ p<0.01

Table 7. Relation between color flow patterns of subpleural lesions with benign group and primary lung cancer examined by color Doppler power mode

Color flow pattern Disease	I	II	III-A	III-B	IV-A	IV-B	Total
Benign group	3	6	30	4	1		44
Primary lung cancer				2	8	7	17

※ p<0.01

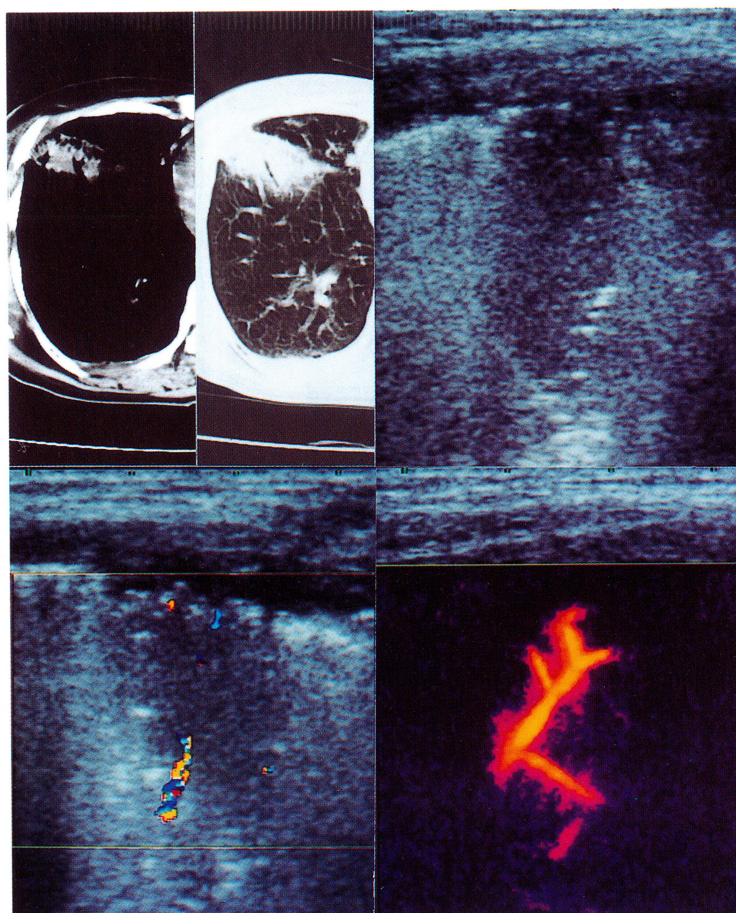


Fig. 2. Pneumonia :
 (left upper) Chest CT scan shows pneumonia in right S³.
 (right upper) Gray scale image shows subpleural hypoechoic lesion.
 (left lower) Color Doppler velocity mode image shows type II color flow.
 (right lower) Color Doppler power mode image shows type III-A color flow.

法がパワー表示法と血流信号描出能が同等であったものはI型1例, II型2例, III-A型11例の20.9%(14/67), 速度表示法がパワー表示法を上回ったものは1例(速度表示法でII型, パワー表示法でI型の肺炎)の1.5%(1/67), パワー表示法が速度表示法を上回ったものは77.6%(53/67)であった(Table 2).

2) 各種疾患とカラードブラ法による血流信号型との関連

速度表示法では, 肺炎の血流信号型は36例中, O型4例, I型3例, II型18例, III-A型11例, 肺膿瘍は8例中I型2例, II型4例, III-A型2例, 原発性肺癌は17例中, O型2例, I型6例, II型7例, III型2例, 転移性肺癌は6例中, O型2例, I型2例, III-A型1例, III-B型1例であった. 肺炎と原発性肺癌との間に速度表示法での血流信号型には有意差は認められなかった(Table 3).

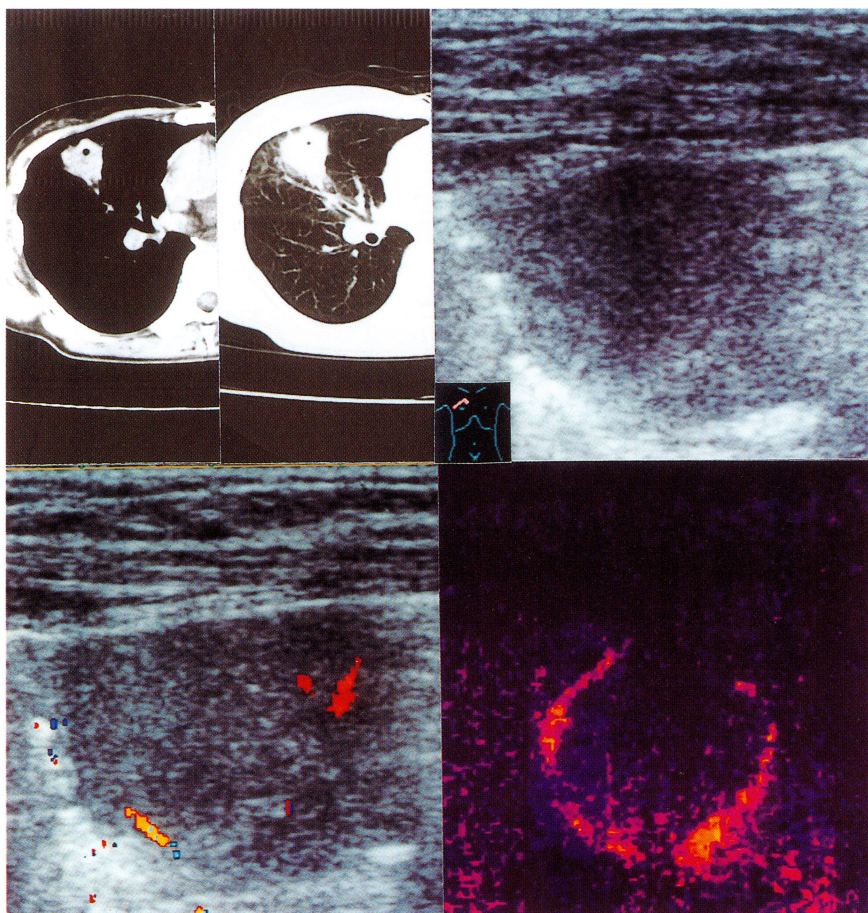


Fig. 3. Pulmonary abscess :
 (left upper) Chest CT scan shows pulmonary abscess in right S⁴.
 (right upper) Gray scale image shows subpleural round hypoechoic lesion.
 (left lower) Color Doppler velocity mode image shows type II color flow.
 (right lower) Color Doppler power mode image shows type III-A color flow.

パワー表示法では、肺炎の血流信号型は36例中、I型3例、II型5例、III-A型25例、III-B型3例と全例I～III型でIV型は存在しなかった。肺膿瘍は8例中、II型1例、III-A型5例、III-B型1例、IV-A型1例とI～III型が88%(7/8)を占めた。これに対し、原発性肺癌は17例中III-B型2例、IV-A型8例、IV-B型7例でIV型が88%(15/17)を占め、転移性肺癌は6例中I型1例、II型3例、IV-B型2例とIV型が33.3%(2/6)を占めた。肺炎と原発性肺癌とにパワー表示法での血流信号型には有意差

を認めた($p < 0.01$) (Table 4).

3) 良・悪性とカラードプラ法による血流信号型との関連

速度表示法では、良性群の血流信号型は44例中、O型4例、I型5例、II型22例、III-A型13例、悪性群の血流信号型は、23例中、O型4例、I型8例、II型7例、III-A型3例、III-B型1例であった。良性群と悪性群との間に速度表示法での血流信号型には有意差は認めなかった (Table 5).

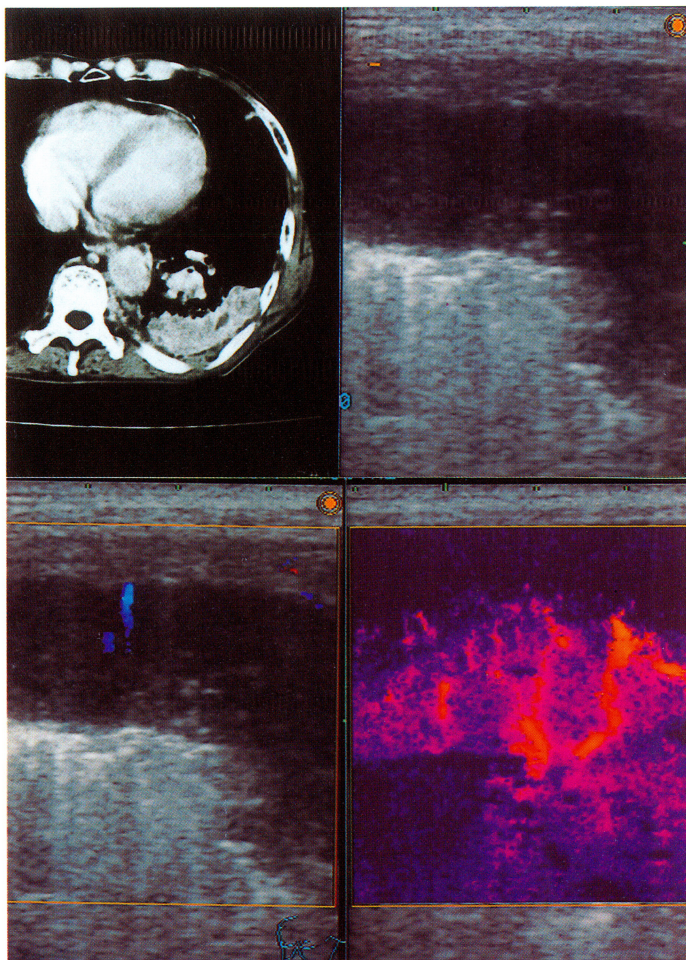


Fig. 4. Primary lung cancer :
 (left upper) Chest CT scan shows lung cancer in left S¹⁰.
 (right upper) Gray scale image shows subpleural hypoechoic lesion.
 (left lower) Color Doppler velocity mode image shows type II color flow.
 (right lower) Color Doppler power mode image shows type IV-B color flow.

パワー表示法では、良性群の血流信号型は44例中、I型3例、II型6例、III-A型30例、III-B型4例、IV-A型1例で、I～III型が98%(43/44)で、IV型はIV-A型であった。悪性群の血流信号型は、23例中、I型1例、II型3例、III-B型2例、IV型17例でIV型が74%(17/23)で、IV型はIV-A型8例、IV-B型9例であった。良性群と悪性群との間にパワー表示法での血流信号型には有意差を認めた($p < 0.01$) (Table 6)。さらに悪性群から原発性肺癌のみを抽出すると、原発性肺癌群の血流信号型はIII-B

型2例、IV型17例でIV型が88%(15/17)で、IV型はIV-A型8例、IV-B型7例であった。良性群と原発性肺癌群を比較するとパワー表示法での血流信号型ではさらに大きく有意差を認めた($p < 0.01$) (Table 7)。

症 例

症例 1.59歳、女性。右S³の肺炎。速度表示法では線状血流信号を示すII型、パワー表示法ではIII-A型枝状血流信号を認めた(Fig. 2)。

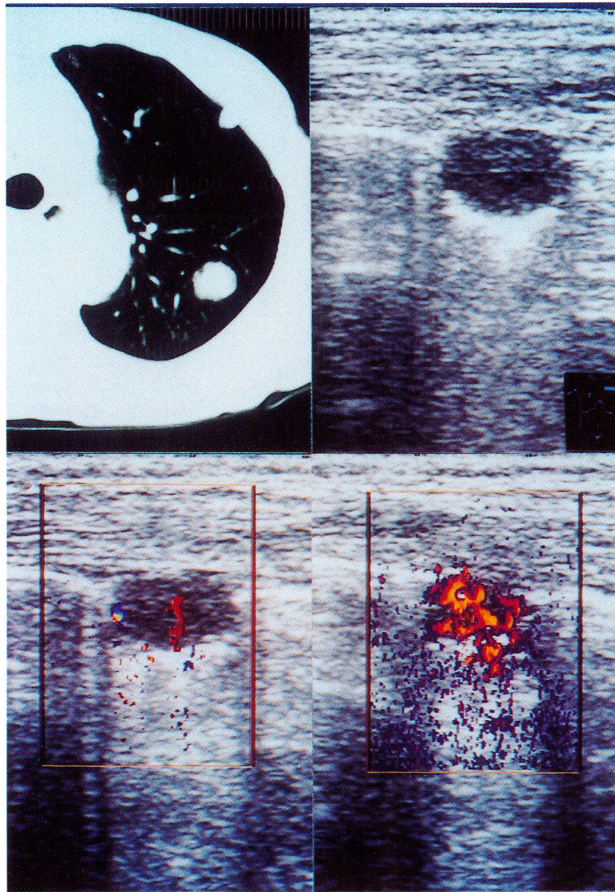


Fig. 5. Metastatic lung cancer :
 (left upper) Chest CT scan shows metastatic lung in left S³.
 (right upper) Gray scale image shows subpleural round hypoechoic lesion.
 (left lower) Color Doppler velocity mode image shows type IV-A color flow.
 (right lower) Color Doppler power mode image shows type IV-B color flow.

症例 2.63 歳, 女性. 右 S⁴ の肺膿瘍. 速度表示法では短い線状血流信号を示す II 型, パワー表示法では壊死部分を取り囲む III-A 型の枝状血流信号を認めた (Fig. 3).

症例 3.64 歳, 男性. 左 S¹⁰ の肺扁平上皮癌. 速度表示法ではわずかな線状血流信号を示す II 型, パワー表示法では IV-B 型の屈曲, 蛇行する豊富な血流信号を認めた (Fig. 4).

症例 4.82 歳, 女性. 左 S³ の大腸癌からの転移性肺癌. 速度表示法では 1 本の一部屈曲, 蛇行する IV-A 型の血流信号を, パワー表示法では IV-B 型の屈曲, 蛇行する豊

富な血流信号を認めた (Fig. 5).

考 察

超音波 B モード法が臨床に應用されるようになった早い時期から呼吸器疾患, とくに胸膜下病変の診断に対する有用性についても報告されてきた¹⁻¹⁰⁾. この超音波 B モード法による病変の質的診断はどの臓器の疾患においても主として捉えられた病変の超音波輝度の差異などの形態的特徴によりなされてきたためおのずと限界があり, 従来より診断体系の中でのスクリーニング検査としての

位置づけにあり、病変の質的診断は血流情報を反映した血管造影や造影CTにゆだねられてきた。しかし1980年代に臨床への実用化がなされた超音波カラードブラ法の登場と血流検出精度の向上もあいまって、病変の質的診断に対する本手法の臨床的有用性が大きくクローズアップされ現在に至っている。すなわち生理的状況下で、病変の形態的特徴に血流情報を加えることによる質的診断能の向上にあり、各種の疾患群に広く応用され臨床的有用性が認識されている¹¹⁻¹⁶⁾。超音波診断法が適用となる呼吸器疾患、すなわち胸膜下病変に対しても、超音波カラードブラ法は臨床に応用されカラー表示の有無やFFT解析による病変内血流信号の波形分析から質的診断の有用性に関する研究がなされてきたが、研究成果は散見されるにすぎない。この理由は、一般に用いられている速度表示法は平均血流速度を表示し、低流速の血流信号や超音波ビームと直交する血流信号の表示に限界があり、病変内血流信号の検出は比較的太いもののみがカラー表示され、細い血管内や流速の遅い血流信号は通常カラー表示されないという特性に起因している。一方、パワー表示法は、ドブラ信号の強さを積算して表示する手法であるため、1) 血流の方向や速度にあまり依存しない。2) S/N比が高い。3) 折り返し現象が無いなどの利点があり、速度表示法に比べ低流速の血流に対する感度が上がり、流速や方向の異なる血流を同一画面に表示するのに優れている。このため腎癌、肝細胞癌、乳癌、甲状腺癌など腫瘍の診断に応用され、これらの鑑別診断、質的診断の臨床的有用性が報告されている²³⁻²⁹⁾。しかし本手法を呼吸器疾患に用い臨床評価を試みた研究は報告されていない。そこで本研究では胸膜下病変診断に対するパワー表示法の臨床評価を行う目的で、胸膜下病変内の血流検出能について速度表示法とパワー表示法を対比し、血流信号表示の多寡と形態と各種疾患との関連性を分析した。

呼吸器疾患に対して速度表示法を用いた研究成果を振り返ると、有田ら¹⁷⁾は胸壁に接する肺内病変に速度表示法を施行し、病変内にpulsatile signal, continuous signal, triphasic signalの3種類の血流信号波形を認め、continuous signalは肺癌にのみ認められたと報告している。またCivardiら¹⁸⁾は、速度表示法を施行した胸膜下50病変(悪性27例、良性23例)には、irregularly pulsatile (venous-like) signalとregularly pulsatile (arterial-like) signalの2種類の血流信号波形を認め、検出能と良、悪性の関連を示した。Yuanら¹⁹⁾も同様の方法で波形分析を行い、胸膜下78病変の病巣内血流のpulsatility index, resistive index, peak systolic velocity

は良性群に比べ悪性群が有意に低く、end diastolic velocityは悪性群が良性群に比べ有意に高いことを示した。血流信号を描出できなかった病変が、良性群において21%、悪性群において36%存在した事実も報告した。同様にHusら²⁰⁾も68症例の検討で、constant flowが悪性群にのみ認められることを示したが、血流信号を描出できなかった病変が良性群で35%、悪性群で19%含まれていたことを明らかにした。これらの速度表示法による胸膜下病変の研究の報告にみるごとく速度表示法の血流信号検出能には限界があることが示されている。

さて今回胸膜下病変に対するパワー表示法の臨床応用を試み、初めて著者の成績で胸膜下病変でも、パワー表示法は速度表示法より血流信号検出能に著しく優れていることが明確となった。これはパワー表示法の理論に基づき、パワー表示法は低流速の血流信号や音線と直交する方向の血流信号も描出できることを実証した成果である。この血流信号表示能が、より詳細な病変内血流信号形態の分類と各種疾患との関連を検討する本研究を可能とした。

さらにパワー表示法による今回の検討では、疾患別には、肺炎はO~III型が100%を占めたが、原発性肺癌は88%がIV型で、両者のパワー表示法による血流信号型に明確な有意差を認め、さらに良性群はIV型以外が98%であるのに対し、悪性群はIV型が74%と良性群と悪性群との間にも血流信号型の有意差を認め、さらに肺炎、肺膿瘍にはIV-B型を示す症例はなくIV-B型であれば悪性の可能性が十分に考えられることが示唆された。原発性肺癌の88%はIV型に属したが、転移性肺癌の中にはI型、II型に属する症例が含まれており今後、転移性肺癌については、原発巣の組織型別に検討する必要があると考えられた。IV-B型は全例悪性であったがIV-A型は悪性89%、良性11%、III-B型は良性66.7%、悪性33.3%と両者が混在していたが、これはまだ描出できていない微細な血流信号が存在するためと考えられる。それ故、血流信号検出能の向上とより適切な血流信号型設定が必要である。

解剖学的に肺動脈は、気道に平行して走行し、気道の分岐形態に一致した分岐様式を示す。終末細気管支レベルより末梢では細動脈から毛細血管となり肺泡へ分岐する。肺静脈は2次小葉より末梢部位で肺小静脈が集合して肺静脈となり、小葉間の結合組織を通り、その後中枢部の結合組織鞘を通過して左房に至る。また一方気管支動脈は、胸膜に分布しているもの以外は、終末細気管支レベルまでは気管支に併走しているが、この後毛細血管叢への分岐していく。また末梢部位で気管支動脈は肺静脈と吻合し、肺静脈系へ血液が流れ込むとされている³⁴⁾。

気管支動脈は肺動脈より細く、肺動脈が細動脈となるレベルでは、毛細血管になっている。このためカラードブラ法で胸膜直下で描出される枝状血流信号(III型)は肺動脈を描出している可能性が高い。有田ら³⁵⁾も無気肺をカラードブラ法で検討し、末梢で容易にドブラ法で検出される Pulsatile signal は肺動脈由来と考えた方が自然であると述べている。

肺癌でみられるIV型(特にIV-B型)は屈曲、蛇行する血流信号で、正常血管構造とは全く異なり、腫瘍血流を示していると考えられる。肺癌の血管構造の報告はMilne³⁶⁾が手術や剖検で得られた切除肺癌を膨らませた後血管造影を行ない、原発性肺癌、転移性肺癌ともに屈曲、蛇行した腫瘍血流が認められ、原発性肺癌では気管支動脈支配の場合が多く、肺癌の部位が末梢気管支へいくほど肺動脈の関与が大きくなるとしている。他方、転移性肺癌は原発臓器により様々な腫瘍血流像、血流支配を呈し、Milneら³⁷⁾はさらに、転移性肺癌の血流支配は気管支動脈よりも肺動脈の関与が大きいと述べている。一方肺癌の血管造影については鈴木ら³⁸⁾は肺癌各組織型で栄養血管、腫瘍血管の形態は異なるとしているが、いずれの組織型でも血管造影上、屈曲、蛇行する腫瘍血管を認め、今回の著者の検討はこれと一致し、上記の結果を初めて超音波カラードブラパワー表示法で臨床的に観察しえたものである。足立ら³⁹⁾は肺癌164例の全例で病巣部の血管新生と血流の広狭不整、途絶とを認めたと報告している。さらに肺癌の気管支動脈造影による腫瘍濃染様式を6種類に分類し、腫瘍濃染様式と濃染度とは肺癌の組織型で異なった特徴ある所見がみられたとしている。またZielińskiら⁴⁰⁾は70症例の剖検、手術で得られた原発性肺癌にmicroangiographyを施行し、vascular formationを8種類に分類し、高分化扁平上皮癌、腺癌、小細胞癌で特徴的な像を示したと述べている。しかし現時点ではパワー表示法においても、血管造影で認められるような詳細な組織別分類をすることは不可能で今後の症例の蓄積と機器の改良とが必要である。

最近注目されている3DCTは、ノッチ、棘状突起などの腫瘍と周囲肺実質との境界部の性状、胸膜陥入像、血管・気管支の集束などの周囲の既存構造と腫瘍との関係をさまざまな方向から検討できるが、腫瘍の内部構造は検討できない。またHRCTは石灰化、気管支透亮像などの腫瘍内部構造を検討するには適しているが、内部血流は検討できない⁴¹⁾。しかしパワー表示法では、腫瘍内部の血流信号の形態が表示できる。今後、3DCTやHRCTにカラードブラパワー表示法を併用すればより正確な診断が期待される。なお実際の問題点は、呼吸器疾患に多い

息止めが不十分な例や心臓に接している病変はノイズが多くなり不明瞭になるが、これは今後のノイズ除去技術の進歩である程度解決されることが期待される。

超音波カラードブラパワー表示法は臨床応用の点では使用が簡便で非侵襲であり、他の検査手技に見られる副作用、放射線被曝などがなくベッドサイドで繰り返し検査可能である点を含め、胸膜下病変の良性、悪性診断の有用性が明確となった。以上の結果より胸膜下病変に対する超音波カラードブラパワー表示法が、腹部など他の領域と比べても同等の有用性があることが示唆された。

結 論

超音波カラードブラパワー表示法の有用性をカラードブラ法による胸膜下病変の血流信号型をO型、I型、II型、III-A型、III-B型、IV-A型、IV-B型の7種類に分類して検討し、以下に示す結果が得られた。

1. カラードブラパワー表示法は病巣内血流信号描出能においてカラードブラ速度表示法を著しく凌駕していた。
2. パワー表示法による検討で、肺炎と原発性肺癌、良性群と悪性群および原発性肺癌との間に、有意差をもって血流信号型に差異を認めた。
3. パワー表示法は胸膜下病変の良、悪性診断に有用であることが示唆された。

なお本論文の要旨の一部は第37回日本呼吸器病学会総会(1997年、横浜)、第38回日本肺癌学会総会(1997年、仙台)、日本超音波医学会第69回研究発表会(1997年、東京)で発表した。

謝 辞

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲をいただきました奈良県立医科大学内科学第二講座成田亘啓教授に深甚なる謝意を捧げるとともに、御校閲賜った放射線医学講座打田日出夫教授、腫瘍放射線医学講座大石元教授に深謝申し上げます。なお日々の研究にあたり直接御指導いただきました平成記念病院鴻池義純副院長に心から感謝いたしますとともに症例の集積に御協力賜りました済生会奈良病院竹下修治副院長をはじめ内科諸兄姉に感謝いたします。

文 献

- 1) Joyner, C. R. Jr., Herman, R. J. and Ried, J. M.: Reflected ultrasound in detection and localization of pleural effusion. JAMA. 200: 399-402, 1967.
- 2) Chandrasekhar, A. J., Reynes, C. J. and

- Churchill, R. J. : Ultrasonically guided percutaneous biopsy of peripheral pulmonary masses. *Chest*. **70** : 627-630, 1976.
- 3) Laing, F. C. and Filly, R. A. : Problems in the application of ultrasonography for the evaluation of pleural opacities. *Radiology* **126** : 211-214, 1978.
- 4) Hirsch, T. H., Rogers, J. V. and Mack, L. A. : Real-time sonography of pleural opacities. *Am. J. Rhentgenol.* **136** : 297-301, 1981.
- 5) 名取 博, 玉城 繁, 吉良枝郎 : 新しい超音波検査法 6. 胸部, 呼吸器. *臨床検査* **22** : 644-650, 1978.
- 6) Sugama, Y., Tamaki, S., Kitamura, S. and Kira, S. : Ultrasonographic evaluation of pleura and chest wall invasion. *Chest*. **93** : 275-279, 1988.
- 7) Suzuki, N., Saitoh, T. and Kitamura, S. : Tumor invasion of the chest wall in lung cancer ; diagnosis with US. *Radiology* **187** : 39-42, 1993.
- 8) Hus, W. H., Chiang, C. D., Hsu, J. Y. and Huang, W. L. : Detection of mass lesion in the collapsed lung by ultrasonography. *J. Formosan Med. Assco.* **91** : 57-62, 1992.
- 9) Yang, P. C., Luh, K. T., Wu, H. D., Chang, D. B., Lee, L. N., Kuo, S. H. and Yang, S. P. : Lung tumors associated with obstructive pneumonitis : US studies. *Radiology* **174** : 717-720, 1990.
- 10) Yang, P. C., Luh, K. T., Chang, D. B., Wu, H. D., Yu, C. J. and Kuo, S. H. : Value of sonography in determining the nature of pleural effusion. *Am. J. Roentgenol.* **159** : 29-32, 1992.
- 11) Paltial, H. J., Patriquin, H. B., Kellar, M. S., Babcock, D. S. and Leithiser, R. E. Jr. : Infantile hepatic hemangioma : Doppler US. *Radiology* **182** : 735-742, 1992.
- 12) Golli, M., Mathieu, D., Anglade, M. C., Cherqui, D., Vasile, N. and Rahmouni, A. : Focal nodular hyperplasia of the liver : value of color Doppler US in association with MR imaging. *Radiology* **187** : 113-117, 1993.
- 13) Horstman, W. G., Melson, G. L., Middleton, W. D. and Andriole, G. L. : Testicular tumors : Finding with color Doppler US. *Radiology* **185** : 733-737, 1992.
- 14) Kelly, I. M., Lees, W. R. and Rickards, D. : Prostatic cancer and the role of color Doppler US. *Radiology* **189** : 153-156, 1993.
- 15) Cosgrove, D. O., Kedar, R. P., Bamber, J. C., Al-Murrani, B., Davey, J. B. N., Fisher, C., McKinna, J. A., Svensson, W. E., Tohno, E., Vagios, E. and Alsanjari, N. A. : Breast disease color Doppler US in differential diagnosis. *Radiology* **189** : 99-110, 1993.
- 16) Freischer, A. C., Rodgers, W. H., Kepper, D. M., Williams, L., Jones III, H. W. and Gross, P. R. : Color Doppler sonography of benign and malignant ovarian masses. *Radio Graphics*. **12** : 879-885, 1992.
- 17) 有田 剛, 藤田岳史, 米城 秀, 松井美補子, 金子隆文, 松本常男, 田中陸雄, 中田太志, 中西 敬 : 超音波カラードブラ法を用いた肺病変内血流評価. *日医放学会誌*. **9** : 1047-1056, 1993.
- 18) Civardi, G., Fornari, F., Cavanna, L., Stasi, M. D., Sbolli, G., Rossi, S., Buscarini, E. and Buscarini, L. : Vascular signals from pleura-based lung lesion studied with pulsed Doppler ultrasonography. *J. Clin. Ultrasound*. **21** : 617-622, 1993.
- 19) Yuan, A., Chang, D., Yu, C., Kuo, S., Luh, K. and Yang, P. : Color Doppler sonography of benign and malignant pulmonary masses. *AJR*. **163** : 545-549, 1994.
- 20) Hsu, W., Ikezoe, J., Chen, C., Kwan, P., Hsu, C., Hsu, N., Chiang, C. and Ho, W. L. : Color Doppler ultrasound signals of thoracic lesions. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **153** : 1938-1951, 1996.
- 21) Yang, P. : Color Doppler ultrasound of pulmonary consolidation. *Eur. J. Ultrasound*. **3** : 169-178, 1996.
- 22) Rubin, J. M., Bude, R. O., Carson, P. L., Bree, R. L. and Adler, R. S. : Power Doppler US : a potentially useful alternative to mean frequency based color Doppler US. *Radiology* **190** : 853-856, 1994.
- 23) Ohishi, H., Hirai, T., Yamada, R., Tokuno, E., Hirohashi, S., Matuo, N. and Uchida, H. : Power Doppler sonography for assessing of the therapeutic effects and recurrence of hepatocellular carcinoma after transcatheter arterial embolization. *Ultrasound International* **3** : 119-126,

- 1997.
- 24) Choi, B. I., Kim, T. K., Han, J. K., Chung, J. W., Park, J. H. and Han, M. C. : Power versus conventional color Doppler sonography : Comparison in the depiction of vasculature in liver tumors. *Radiology* **200** : 55-58, 1996.
- 25) Lencioni, R., Pinto, F., Armillotta, N. and Bartolozzi, C. : Assessment of tumor vascularity in hepatocellular carcinoma : Comparison of power Doppler US and color Doppler US. *Radiology* **201** : 353-358, 1996.
- 26) Bude, R. O., Rubin, J. M. and Adler, R. S. : Power Doppler versus conventional color Doppler sonography : comparison in the depiction of normal intrarenal vasculature. *Radiology* **192** : 777-780, 1994.
- 27) Birdwell, R. L., Ikeda, D. M., Jeffrey, S. S. and Jeffrey, R. B. Jr. : Preliminary experience with power Doppler imaging of solid breast masses. *AJR*. **16** : 703-707, 1997.
- 28) 山田麗子, 平井都始子, 大石 元, 佐々木義明, 今井照彦, 打田日出夫, 地挽隆夫 : 腎疾患に対するカラードブラパワー表示法の評価. *超音波医学* **22** : 449-454, 1995.
- 29) 浜崎直樹, 鴻池義純, 須崎康恵, 江川信一, 竹下修治, 仲川房幸, 衛藤幸男, 今井幸子, 大石 元, 成田亘啓 : 甲状腺結節性病変の診断に対する超音波カラードブラ法の有用性—速度表示法とパワー表示法の比較—. *超音波医学* **24** : 873-877, 1997.
- 30) Newan, J. S., Adler, R. S., Bude, R. O. and Rubin, J. M. : Detection of soft tissue hyperemia : Value of power Doppler sonography. *AJR*. **163** : 385-389, 1994.
- 31) 名取 博, 中田尚志, 五十嵐知文, 森 雅樹 : 国立がんセンター編 癌の画像診断 2. *メディカルビュー* 社, 東京, p74-83, 1997.
- 32) Yang, P. C. : Ultrasound-guided transthoracic biopsy of peripheral lung, pleural, and chest-wall lesions. *J. Thorac Imag.* **12** : 272-284, 1997.
- 33) 徐 武輝, 池添潤平 : 超音波 update—スクリーニングから精査の時代へ—胸部. *臨床放射線* **43** : 1403-1415, 1998.
- 34) Groskin, S. A. : HEITZMAN'S The Lung. third edition. 医学書院, 東京, p43-68, 1995.
- 35) 有田 剛, 藤田岳史, 久米典彦, 松井美補子, 箕田俊文, 金子隆文, 松本常男, 田中陸雄, 中田太志, 中西 敬 : 無気肺病変内部における血流動態について. *Nippon Acta Radiol.* **54** : 917-919, 1994.
- 36) Milne, E. N. C. : Circulation of primary and metastatic pulmonary neoplasms. A postmortem microarteriographic study. *AJR*. **100** : 603-619, 1967.
- 37) Milne, E. N. C. and Zerhouni, EA. : Blood supply of pulmonary metastases. *J. Thorac Imag.* **2** : 15-23, 1987.
- 38) 鈴木謙三 : 血管造影から見た肺癌の発育様式と血管構築の関係—気管支動脈注入療法の効果との相関. *放治システム研究*. **4** : 137-142, 1987.
- 39) 足立秀治, 佐古正雄 : 肺癌における気管支動脈造影像並びに気管支動脈内制癌剤注入療法に関する臨床的研究. *肺癌* **23** : 457-471, 1983.
- 40) Zieliński, KW. and Kulig, A. : Morphology of the microvascular bed in primary human carcinomas of lung. *Pathol Res Pract* **178** : 243-250, 1984.
- 41) 栗山啓子, 三原直樹, 細見尚弘, 沢井ユカ, 井上悦男, 門田 強, 鳴海善文, 橋本 勉, 藤田 眞, 熊谷年起, 前田 浩, 黒田知純 : 3DCT による肺末梢部腫瘍の診断. *臨床放射線* **40** : 795-802, 1995.