

Title	超音波ドプラー法による肝腫瘍診断-血流情報による評価-
Author(s)	荒井, 和徳
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1992, 52(3), p. 320-337
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18534
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

超音波ドプラー法による肝腫瘍診断

—血流情報による評価—

金沢大学医学部放射線医学教室（主任：高島 力教授）

荒 井 和 徳

（平成3年3月27日受付）

（平成3年7月25日最終原稿受付）

Doppler Sonography in the Diagnosis of Liver Tumors

Kazunori Arai

Department of Radiology, Kanazawa University School of Medicine

Research Code No. : 514.2

Key Words : Liver tumor, Ultrasound, Doppler sonography

The value of color duplex Doppler sonography in evaluating tumor vascularity was investigated in 82 hepatic tumors (61 hepatocellular carcinomas, 11 metastatic cancers, eight adenomatous hyperplasia, one focal nodular hyperplasia, and one cholangiocellular carcinoma) receiving angiography, 64 intrahepatic arteries, and five hepatic cysts.

The minimum diameter of the intrahepatic arteries (lateral inferior subsegmental arteries) from which signals could be weakly obtained by using a 3.5 MHz transducer was 0.7 mm. Twenty-eight (74%) of 38 tumors with signals within them had definite tumor vessels on angiography, and continuous blood flow within the tumors showed an association with the dilated tumor vessels. Eighteen (69%) of 26 tumors with signals within them receiving conventional angiography had tumor vessels greater than 0.7 mm. However, only 17 (31%) of 55 tumors ≤ 3 cm showed signals within them in contrast to 21 (78%) of 27 tumors > 3 cm. Three of eight adenomatous hyperplasias, which were angiographically undetected and had portal or hepatic venous branches, showed signals within them. Four tumors that had abnormally high velocity arterial signals (> 0.63 m/sec) within them showed no arteriovenous shunt.

Evaluation of tumor vascularity according to the Doppler sonographic findings at the periphery of the tumor was difficult. This was attributed to the fact that the real sample volume was larger than that on B-mode image, with no correlation seen between the signals at the tumor periphery or the existence of arteries surrounding the tumor and tumor vascularity. Although a correlation was seen between tumor vascularity or tumor size and peak systolic velocity determined at the tumor periphery ($p < 0.05$), five of six tumors with abnormally high velocities (> 0.63 m/sec) at the tumor periphery were ≥ 5 cm in diameter.

Doppler signals of the artery feeding the arteriovenous shunt were characterized by abnormally high velocity and low resistive index.

In conclusion, Doppler sonography is somewhat useful in evaluating tumor vascularity, but less so in small hepatic tumors.

I. はじめに

超音波ドプラー法は体外より非侵襲的に生体内の血流情報を得ることが可能であり、血管内の血液の流速や流量の測定、血管の狭窄の有無、末梢の血管抵抗の評価などに使用されている¹⁾。腫瘍に関しては乳腺²⁾などの表在性の腫瘍の悪性度判定を目的として腫瘍内血流情報の検出に応用されてきた。近年超音波ドプラー断層装置の発達により、B-mode 画像上の任意の部位からの信号採取や血流のカラー表示が可能となり、深部臓器の腫瘍についても超音波ドプラー法による検討がなされている³⁾。肝腫瘍については、腫瘍の vascularity の評価や鑑別診断についての報告がみられ^{3)~15)}、その有用性を強調するものが多い。しかしながら、これらの報告については超音波ドプラー法による脈管の検出能やその信頼性といった基礎的な検討がなされておらず、肝腫瘍診断におけるドプラー法の有用性と限界が明らかにされているとは言い難い。本研究の目的は、これらの基礎的検討を行った上で肝腫瘍のドプラー所見と血管造影所見を対比することで、肝腫瘍の vascularity の評価や鑑別診断の可能性を明らかにすることである。

II. 対象と方法

すべての検討で複合型カラードプラー超音波断層装置(横河メディカル社製、RT8000)を使用した。本装置ではパルスドプラー法と通常のB-mode法がリアルタイムに同時に施行でき、カラードプラー断層も同時に併用可能である。

1) 非腫瘍肝における肝内動脈のドプラー信号の検討

肝腫瘍の栄養血管がもっぱら肝動脈によることから、肝腫瘍の検討に先立って、非腫瘍部の肝内動脈を検討した。この目的は、動脈径によるドプラー信号の検出能を明らかにすることと、肝内動脈の流速の正常範囲とその性状を知るためである。

対象は64例(37~78歳)である。使用した超音波の周波数は3.5MHzであり、パルスドプラー法の施行においては、wall filterは50~400Hz, sample volumeの大きさは方位方向に4mm, 軸位方向に4~8mmに設定して行った。肝内動脈のドプ

ラー信号は左肝動脈領域から検出した。左肝動脈で検討しようとした理由は、スキャンが容易であり、動脈の重なりが右に比べて少なく、走行が単純なことから血管造影との対比が容易であろうと考えたこと、および門脈左枝臍部の走行は通常腹尾側に走行して超音波ビームとの角度が急峻になるために入射角による補正が不要であろうと考えたことによる。全例、超音波診断上左葉に腫瘍性病変を認めず、34例で施行された血管造影でも腫瘍性病変や動静脈シャント等の異常所見は認めなかった。

a. 肝内動脈の動脈径によるドプラー信号の検出能の検討

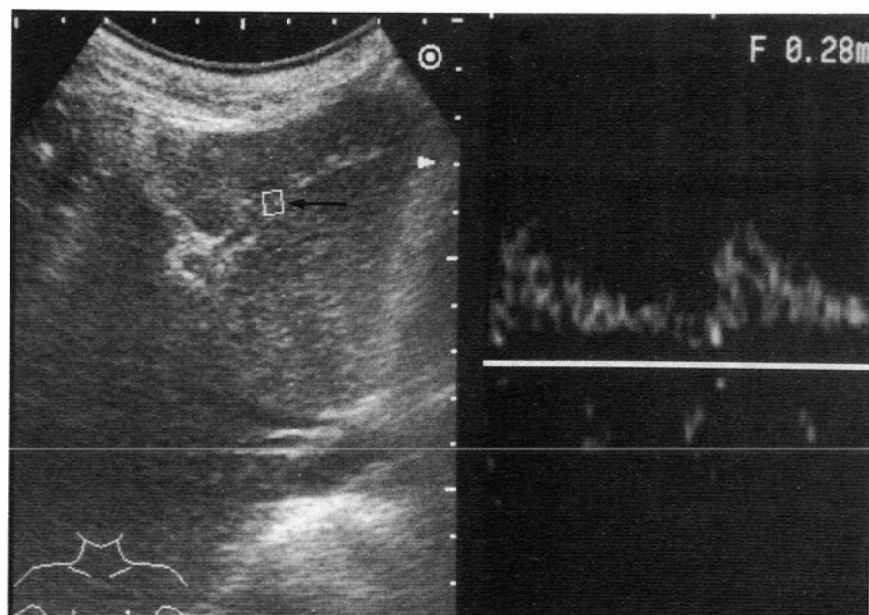
14例を対象に施行した。左肝動脈の腹側外側区域枝(A3)から動脈性のドプラー信号が得られた場合、sample volumeをより遠位に移動させ、かろうじて信号が検出できる部位を捜してB-mode画像及びドプラー信号波形を記録した(Fig. 1a)。A3本幹の全長を大まかに3等分して検出部位を分類した。全例でcut filmによる血管造影を施行(1例を除いて拡大撮影を施行)し、ドプラー信号の検出部に相当すると判断される部位で動脈径を測定した(Fig. 1b)。

b. 肝内動脈の血流速及びresistive index (RI)の検討

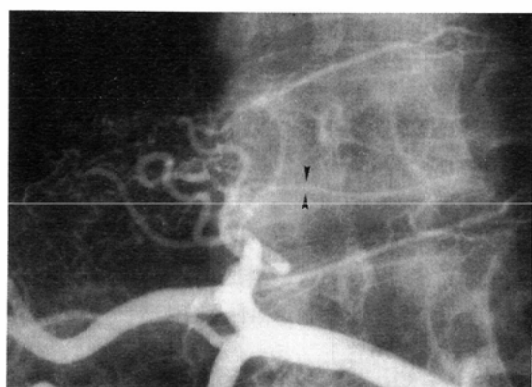
61例を対象に施行した。門脈左枝臍部に沿って走行する動脈からドプラー信号を検出し、その波形を記録した。波形から収縮期最大流速(Vmax)と末梢の血管抵抗の大小を示すRI $\{(V_{\max} - \text{拡張期最低流速}) / V_{\max}\}$ ¹⁶⁾¹⁷⁾を計測した。正確な流速を測定するためには、超音波ビームの入射角による補正が必要であるが¹⁶⁾¹⁷⁾、門脈左枝臍部は腹・尾側に走行し、超音波ビームとの角度が急峻であることから(Fig. 2)、これに沿って走行している動脈と超音波ビームとの入射角による補正は行わなかった。

2) 肝嚢胞での検討

超音波ドプラー法で検出されて来る信号の検出部位特定における信頼性を確認するために avascular mass である5例(53~70歳)の肝嚢胞を対象に検討した。肝嚢胞の径は1~4cmであり、超音



a



b

Fig. 1 a: Intrahepatic arterial Doppler signals barely obtained from the middle portion of the lateral inferior subsegmental artery (arrow). b: The diameter of the artery corresponding to the site of origin of the Doppler signals (arrowheads) was calculated by conventional angiography.

波の周波数は3.5MHz, 5MHzを使用した。パルスドプラー法施行時には、wall filterは100Hz, sample volumeは方位方向に4mm, 軸位方向に5~7mmに設定した。B-mode上の嚢胞の内部及び辺縁部で信号の検出の有無を検討した。

3) 肝腫瘍での検討

B-mode上確認可能な肝腫瘍性病変62例(43~78歳)82結節を対象に腫瘍のドプラー信号と血管造影所見を検討した。82個の腫瘍の内訳はhepatocellular carcinoma (HCC) 61結節, focal nodular hyperplasia (FNH) 1結節, adeno-

matous hyperplasia (AH) 8結節, metastatic liver cancer (MLC) 11結節, cholangiocellular carcinoma (CCC) 1結節である (Table 1)。14結節を除いてその診断は典型的な臨床所見と画像所見により総合的になされたものである。AHの画像診断に関しては、現在HCCとの関係でその診断に注目が集まっているところであるが、経動脈性門脈造影下連続CT (門脈CT)を含めた血管造影所見及び磁気共鳴映像法の所見から診断された¹⁸⁾¹⁹⁾。腫瘍径は1.1~16cm (平均3.7cm)であった。使用した超音波の周波数は3.5MHz, 5MHz

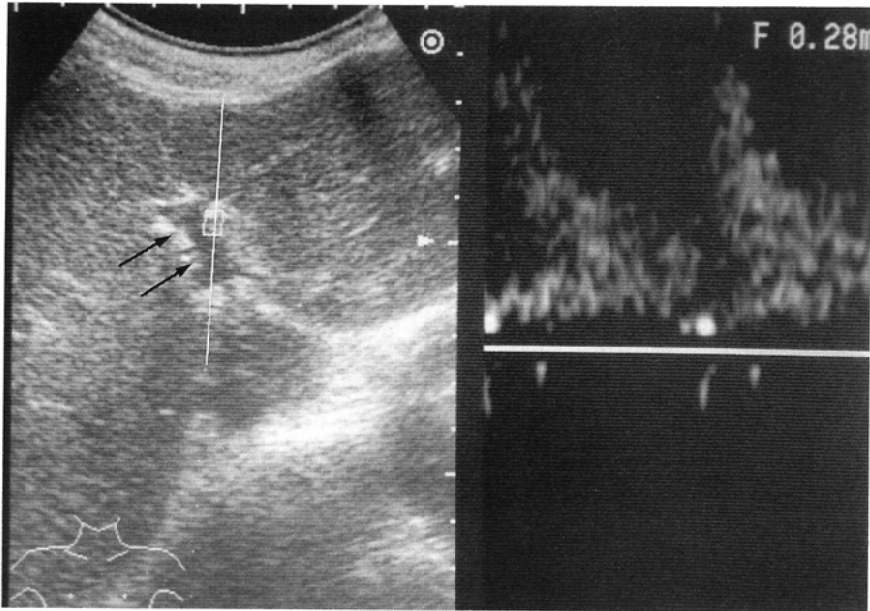


Fig. 2 The angle between the artery which runs parallel to the umbilical portion of the left portal vein (arrows) and the ultrasound beam (straight line) is acute.

Table 1 Materials

Diagnosis	Lesions (pathologically confirmed lesions)
Hepatocellular carcinoma (HCC)	61(6)
Focal nodular hyperplasia (FNH)	1(1)
Adenomatous hyperplasia (AH)	8(4)
Metastatic liver cancer (MLC)	11(3)
Cholangiocellular carcinoma (CCC)	1
Total	82(14)

Diagnosis of most cases was made according to the typical imaging and clinical findings.

であり、wall filter は100Hz, sample volume は方位方向に4mm, 軸位方向に3~7mm に設定して施行した。また症例によってカラードプラー断層法も併用した。血管造影は2例2結節を除いて全例でdigital subtraction angiography が施行されており、38例49結節では拡大立体撮影を含むcut film 法でも撮影された。血管造影の所見から腫瘍の vascularity を3群に分類した。

0群：腫瘍濃染, 腫瘍血管を認めない(Fig. 3)。

1群：腫瘍濃染のみを認める。もしくは微細な腫瘍血管を認める (Fig. 4)。

2群：腫瘍内に浸潤された既存の血管を含めて明瞭な腫瘍血管を認める (Fig. 5)。

また、腫瘍の栄養動脈からの血流情報による腫瘍の vascularity 診断の可能性を明らかにするために、腫瘍辺縁から得られる動脈性信号と腫瘍の vascularity・腫瘍径の関係を検討した。

4) 動静脈シャントのドプラー所見の検討

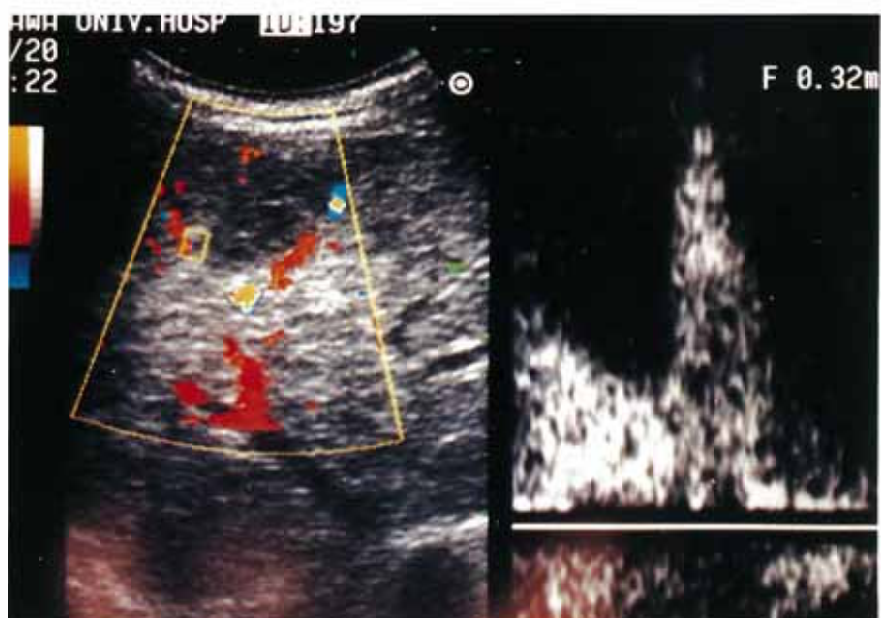
動静脈シャント (動脈相から明瞭な静脈の描出を認めるもの) の有無を血管造影から評価し、HCC の1結節に門脈内腫瘍栓を伴って明瞭な動静脈 (門脈) シャントを認めた。また肝腫瘍での検討に含めることができなかった3症例 (1例は腫瘍の範囲が不明確, 1例は非腫瘍部でのシャント, 1例は血管造影が未施行) で、大量の動静脈シャントを血管造影, あるいは dynamic CT で認めた。これらの4症例においてシャント部へ向かう動脈からのドプラー信号を検討した。

III. 結 果

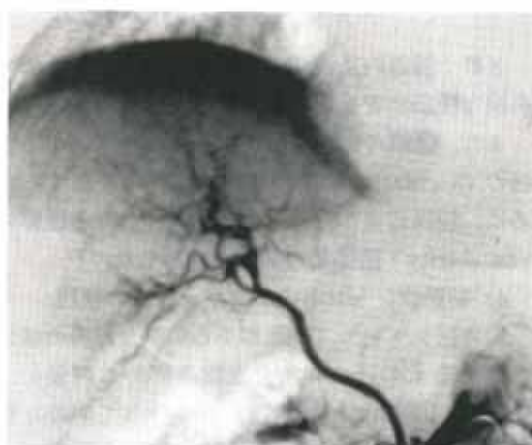
1) 非腫瘍肝における肝内動脈のドプラー信号

a. 動脈径による信号の検出能

3.5MHz の周波数により A3 からかろうじて信号が検出できる部位は A3 全長の中間部が殆どで



a



b

Fig. 3 Adenomatous hyperplasia (vascularity 0).
a: Color Doppler flow image shows arteries surrounding hypoechoic mass. b: No tumor stain is shown on digital subtraction angiography.

あり、その最小の動脈径は0.7mmであった (Table 2).

b. 肝内動脈の Vmax と RI

門脈左枝臍部に沿う部位での左肝動脈の Vmax は0.14~0.63 (0.37±0.12) m/secであり、RI は0.52~0.86 (0.70±0.08)であった (Fig. 6). Vmax と RI には相関は見られなかった。動脈内の流速や RI は、血管と超音波ビームとの角度や、その動脈が近位の動脈か末梢の動脈かなどに影響

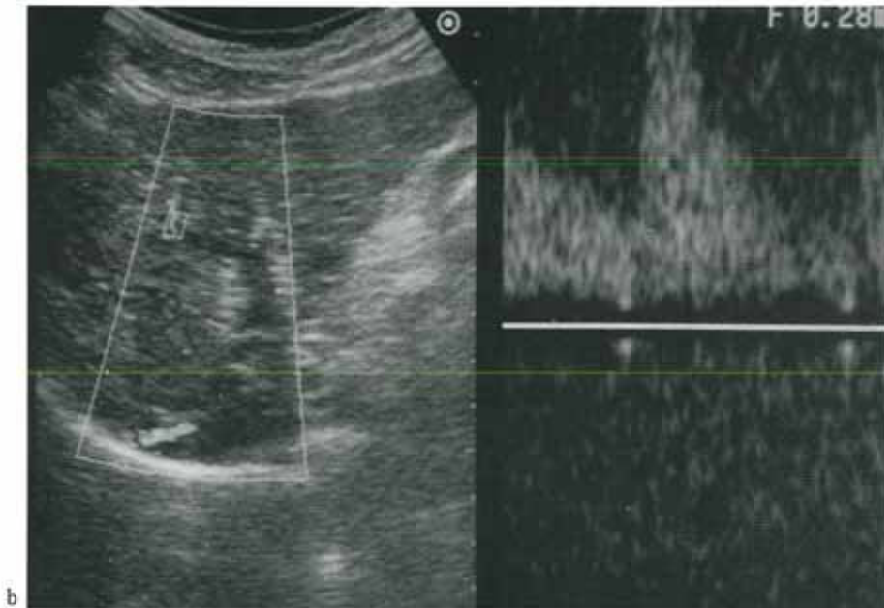
されるために、肝内全域に通用する正常範囲を決定するには無理があるが、この検討から、0.63 m/sec 以上または0.52以下の RI を示す動脈性信号を異常と判断して検討した。

2) 肝嚢胞のドプラー所見

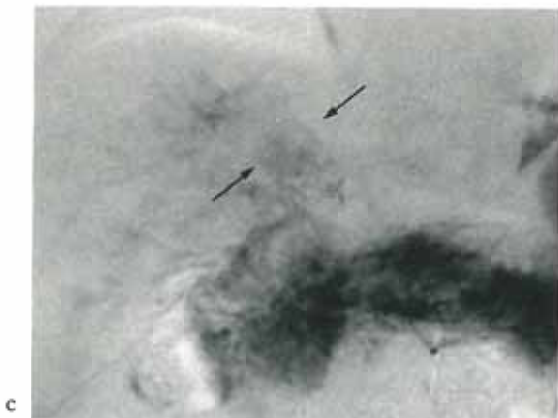
嚢胞の中央部からはドプラー信号は全例で検出できなかった。しかし、肝内門脈や肝静脈が嚢胞に近接して、あるいは嚢胞を取巻くように走行しているのが全例カラードプラー断層で認められ、



a



b

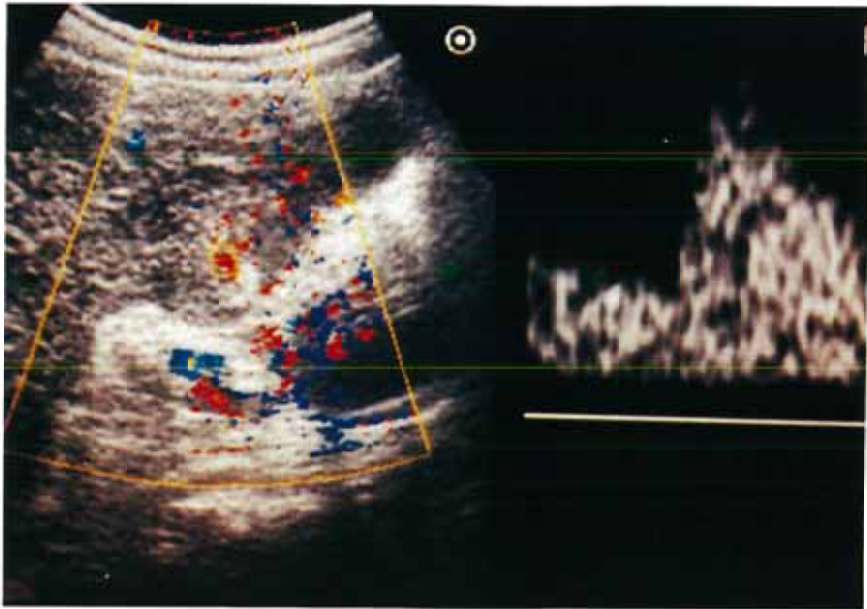


c

Fig. 4. Hepatocellular carcinoma (vascularity 1).
a, b: Color Doppler flow image (a) and pulsed Doppler sonogram (b) show arteries surrounding mass. c: Faint tumor stain (arrows) is shown on digital subtraction angiography.



a



b



c

Fig. 5 Hepatocellular carcinoma (vascularity 2).
 a, b: Color Doppler flow images artery surrounding mass and arterial blood flow in the mass. c: Conventional angiography shows definite hypervascularity within the tumor.

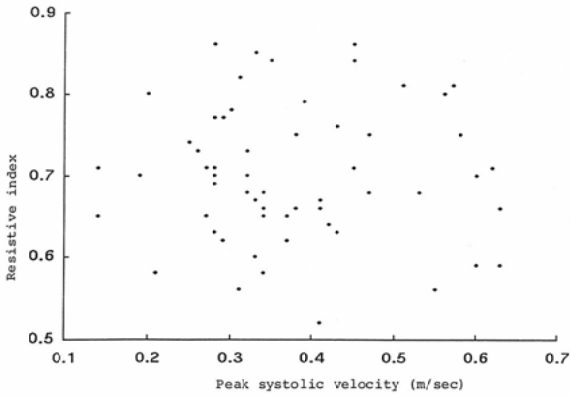


Fig. 6 Distribution of peak systolic velocities and resistive indexes of arteries running parallel to the umbilical portion of the left portal vein.

Table 2 The diameters and sites of lateral inferior subsegmental arteries from which arterial Doppler signals were only weakly obtained

No.	Detected site	Arterial diameter (mm)
1	middle	0.7
2	middle	0.7
3	distal	0.8
4	middle	0.7
5	proximal	0.7
6	middle	0.8
7	middle	0.8
8	distal	0.7
9	middle	1.0
10	middle	0.8
11	middle	0.8
12	middle	1.0
13	middle	1.4
14	middle	0.7

Detected site: lateral inferior subsegmental artery was roughly divided into three portions-proximal, middle, and distal.

B-mode 上に表示される sample volume がこれらの脈管に接するようにある場合は、sample volume が嚢胞内にあってもその脈管から検出できる信号と同様の信号が検出できた (Fig. 7)。門脈が近接している場合には門脈に伴走する動脈の信号も検出できた。

3) 肝腫瘍のドプラー所見

肝嚢胞の検討で明らかになったごとく、腫瘍辺縁からのドプラー信号は周囲脈管との関係が重要

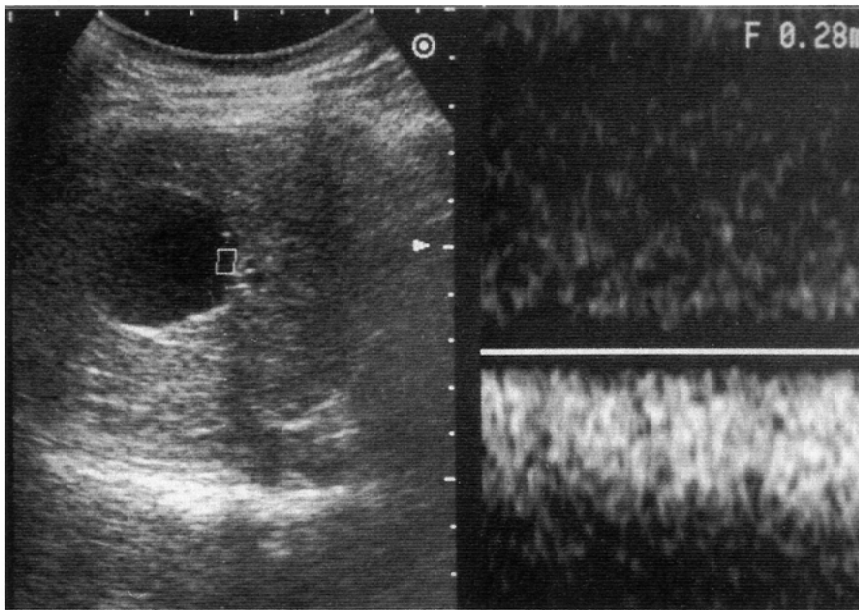
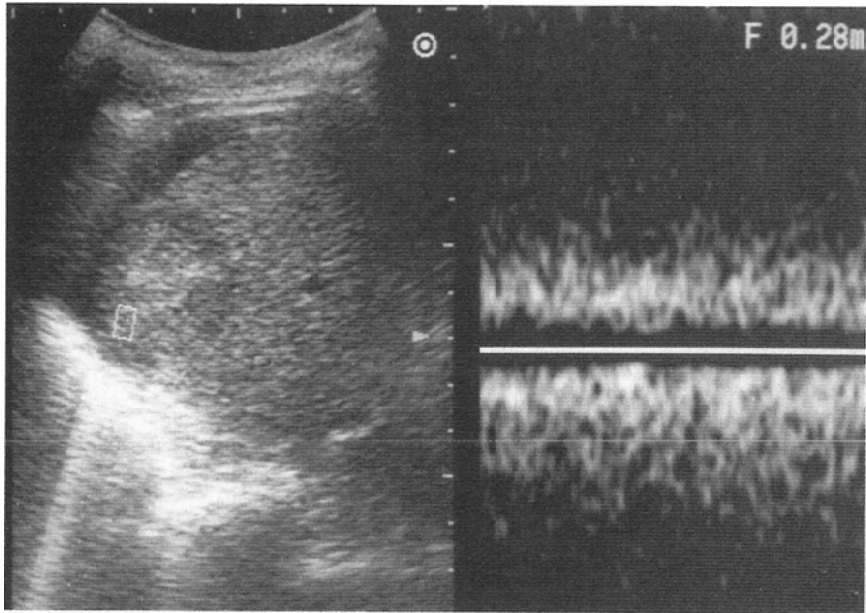
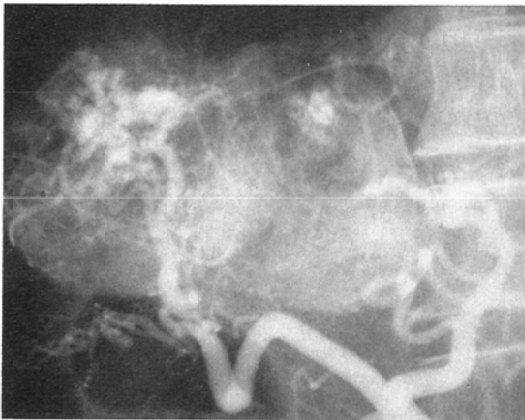


Fig. 7 Pulsed Doppler sonogram shows that continuous blood flow was obtained from periphery of liver cyst, although the entire sample volume was within the cyst.



a



b

Fig. 8 Hepatocellular carcinoma. a: Pulsed Doppler sonogram shows continuous blood flow within mass. b: Conventional angiography shows abnormally dilated vessels or sinusoids within the tumors.

であり、得られた信号が腫瘍内か外か判断できないという問題がある。したがってドプラー信号の検出部位を腫瘍内と腫瘍辺縁（境界部）に分けて検討した。

a. 腫瘍内部のドプラー信号と血管造影所見との対比

82結節中38結節で、腫瘍内部に限られた1カ所あるいは数カ所のポイントから動脈性拍動波 (Fig. 5) や定常波 (Fig. 8) を検出した。血管造影で分類した腫瘍の vascularity と腫瘍内ドプ

ラー信号との関係を Table 3 に示す。2群の vascularity を有する33結節中28結節 (85%) でドプラー信号が検出できたが、0群及び1群では49結節中10結節 (20%) でしか検出できなかった。

腫瘍内部から信号が検出できた38結節中26結節で腫瘍内の血管像が詳細に検討できるように拡大撮影を含めた cut film 法で血管造影が施行されたが、18/26結節 (69%) で内部に0.7mm以上の腫瘍血管の存在が確認された。0.7mm以上の腫瘍血管が確認できなかった8結節中3結節では、結

Table 3 Correlation between Doppler signals and vascularity within the tumor

Doppler signal	Vascularity		
	0	1	2
A+C	●		○○○○○ ○○○△△ △
A	○	○○○○△	○○○○○ ○○○○△
C	●●	○	○○○○○ ○○
ND	○○●●●● ●●△△	○○○○○ ○○○○○ ○○○○○ ○○○○○ ○○○○○ △△△△△	○○○○○

○ : HCC, FNH ● : AH △ : MLC, CCC

Doppler signal

A : arterial

C : continuous

ND : not detected

Vascularity

0 : arteriographically undetected

1 : detected with tumor stain and/or faint neovascularization

2 : detected with definite hypervascularity

Table 4 Correlation between tumor size and detectability of Doppler signals within the tumor

Tumor size	Doppler signal	
	(+)	(-)
≤ 3cm	○○○○○ ○○○○○ ○○○○○ ●●●●●	○○○○○ ○○○○○ ○○○○○ ○○○○○ ○○○○○ ○○○○○ ●●●●● ●●△△△ △△△
> 3cm	○○○○○ ○○○○○ ○○○○○ ○○○○○ △△△△△ △	○○○○○ ○

○ : HCC, FNH ● : AH △ : MLC, CCC
Doppler signal
(+) : detected
(-) : undetected

Table 5 Correlation between abnormally high velocity arterial Doppler signals within the tumor and arterio-venous (A-V) shunt

No.	Diagnosis	Tumor size	Vmax	RI	A-V shunt
1	MLC	5.5	1.01	0.5	(-)
2	MLC	16	0.96	0.68	(-)
3	CCC	10	0.79	0.5	(-)
4	HCC	11	0.85	0.77	(-)

Vmax=peak systolic velocity (m/sec)

RI=resistive index

節内に門脈，肝静脈枝が存在するのが他の画像診断で認められた (Fig. 9)。これらの結節は vascularity は 0 群であり，生検あるいは門脈 CT や磁気共鳴映像法の典型的な所見から AH と診断された。残り 5 結節は信号の発生源は不明であったが，3 結節は 5MHz の周波数で検査して内部から動脈性拍動波が検出されたものであり，2 結節は 3.5MHz で検査して定常波が検出されたものである。

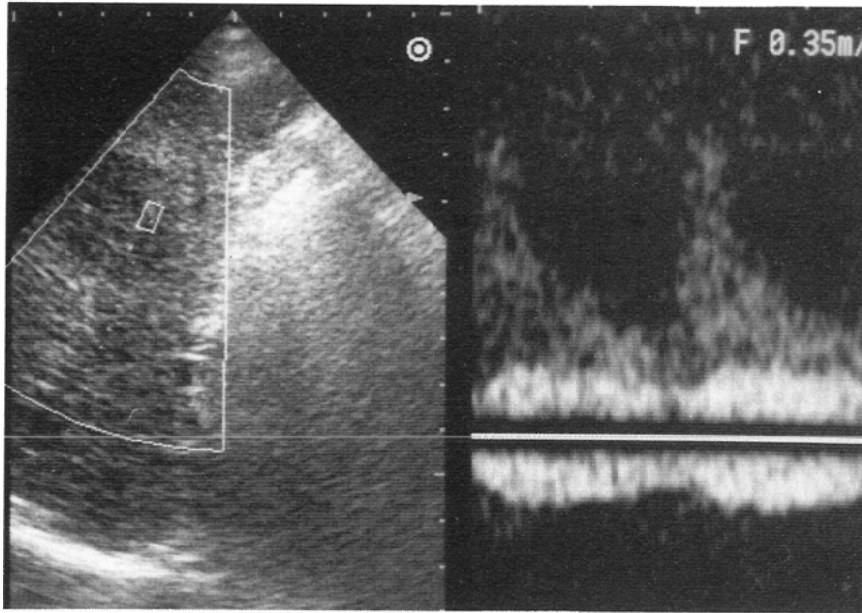
ドプラー信号の検出率を腫瘍径 3cm 以下と 3cm を超えるものとで分けて検討してみると，3cm を超える群では 21/27 結節 (78%) で信号が検出できたが，3cm 以下の群では 17/55 結節 (31%) でしか検出できなかった (Table 4)。MLC や CCC などの一般的には hypovascular とされている腫瘍でも 3cm を超える例では全例に腫瘍内から信号を検出できた。

腫瘍内部から高速の動脈性信号 (非腫瘍部での検討から 0.63/sec を超える流速とした) は 4 結節

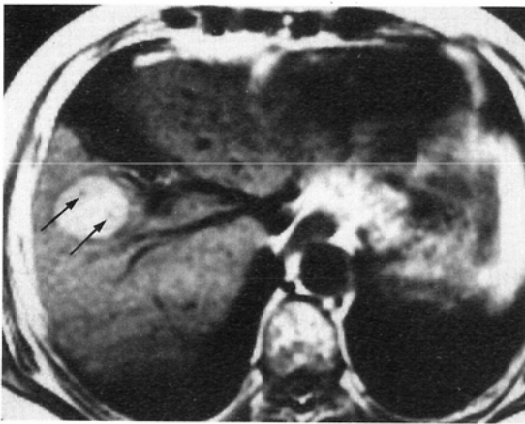
で得られたが，明らかな動静脈シャントを呈する例は認めず，MLC や CCC でも検出された (Table 5)。内部に門脈枝や肝静脈枝を含む AH を除いて定常波のみが検出された 8 結節中 5 結節 (及び定常波と動脈性拍動波が検出された 11 結節中 6 結節) で腫瘍内に異常に拡張した腫瘍血管 (腫瘍内血洞) が認められた (Fig. 8)。これに対して，動脈性拍動波のみが検出された 16 結節では拡張した腫瘍血管は 3 結節しか認めなかった。

b. 小肝腫瘍辺縁でのドプラー信号の検討

腫瘍全体の辺縁を評価するのが比較的容易である 3cm 以下の小肝腫瘍 55 結節 (HCC 39 結節，MLC 7 結節，AH 8 結節，FNH 1 結節) で検討した。腫瘍辺縁から得られるドプラー信号の性状，検出率には腫瘍の vascularity による明らかな差は認めなかったが，MLC では HCC や AH に比



a



b



c

Fig. 9 Adenomatous hyperplasia. a : Pulsed Doppler sonogram shows continuous and arterial blood flow within hypoechoic mass. b : T1-weighted MR image (1.5T, spin echo, TR=500msec, TE=20msec) shows hyperintense mass and vessels within the mass (arrows). c : CT during arterial portography shows portal branches within the mass (arrows). The mass is not clearly shown due to the existence of portal blood flow in it.

べ信号の検出率は低かった (Table 6),

カラードプラー断層で詳細に評価された18結節 (HCC 11結節, AH 5結節, MLC 2結節)では7結節に腫瘍辺縁を取巻く動脈が認められた (Table 7). この所見は vascularity が0群の腫瘍 (Fig. 3)では7結節中2結節で, vascularity が1

群の腫瘍 (Fig. 4)では4/9結節で, vascularity が2群の腫瘍 (Fig. 5)では1/2結節で認められ, vascularity が0群の腫瘍で検出率はやや低かったが, 腫瘍の vascularity との間には明らかな関係は見られなかった. MLCは2結節と対象が少なかったが, 辺縁を取巻く動脈は認められず, 腫

Table 6 Correlation between Doppler signals at periphery of the tumor and vascularity within the tumor less than 3cm in diameter

Doppler signal	Vascularity		
	0 (n=12)	1 (n=32)	2 (n=11)
A+C	○●●●	○○○○○ ○○○	○
A		○○○○△	○○○○○
C	○●●	○○○○○ ○△	○○○
ND	●●●△△	○○○○○ ○○○○△ △△	○○

○: HCC, FNH ●: AH △: MLC

Table 7 Correlation between vascularity within the tumor (less than 3cm in diameter) and detection of hepatic artery surrounding the tumor on color Doppler flow imaging

Vascularity	Hepatic artery	
	(+)	(-)
0	●●	○●●●△
1	○○○○	○○○○△
2	○	○

○: HCC ●: AH △: MLC

Hepatic artery

(+): hepatic artery surrounding the tumor was detected

(-): hepatic artery surrounding the tumor was not detected

瘍辺縁を取巻く動脈が見られたのは肝硬変を発生母地とする HCC と AH だけであった。

c. 腫瘍辺縁から得られる動脈性拍動波の流速及び RI と腫瘍の vascularity 及び腫瘍径の関係

腫瘍辺縁から32結節 (HCC 25結節, FNH 1結節, AH 3結節, MLC 3結節) で動脈性拍動波を検出した。動脈性拍動波の Vmax と腫瘍の vascularity の関係を見ると、腫瘍の vascularity が高くなると Vmax が高くなる傾向がみられた (Fig. 10a)。Vmax と腫瘍径の関係をみると、腫瘍径が大きくなると Vmax が速くなる傾向がみられた

(Fig. 10b)。非腫瘍部での検討から0.63m/sec以上を異常高速血流とすると、6結節で異常高速血流を認めた。これら6結節は全例2群の vascularity を有し、1結節を除いて5cm以上であった。

腫瘍辺縁から得られる動脈性拍動波の RI と腫瘍の vascularity, 腫瘍径とに関係はみられなかった (Fig. 11) が、異常に低い RI (<0.52) を示した2結節は HCC であり、1結節は豊富な腫瘍血管増生を認め、1結節は強い腫瘍濃染と毛細管相

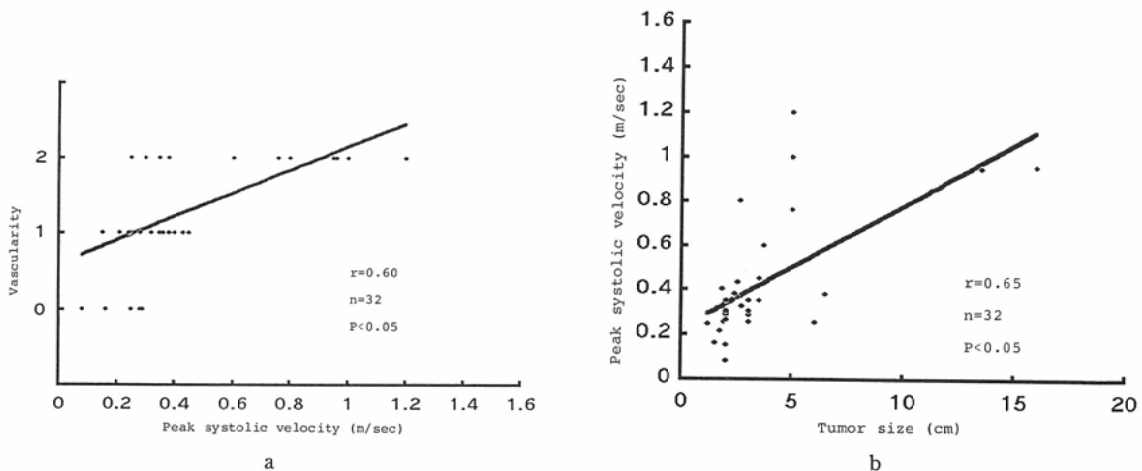


Fig. 10 a: Correlation between peak systolic velocity of arterial flow obtained at periphery of tumor and vascularity within the tumors. b: Correlation between peak systolic velocity of arterial flow obtained at periphery of tumor and tumor size.

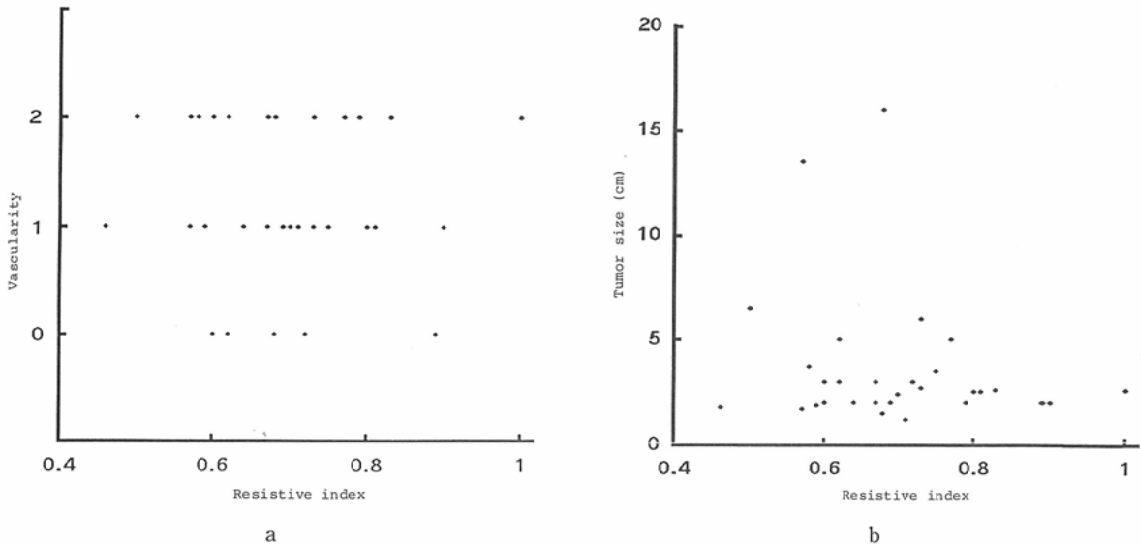


Fig. 11 a: Correlation between resistive index of arterial flow obtained at periphery of tumor and vascularity within the tumor. b: Correlation between resistive index of arterial flow obtained at periphery of tumor and tumor size.

Table 8 Peak systolic velocity and resistive index of artery feeding the arterio-venous (A-V) shunt

No.	Cause of A-V shunt	V max	R I
1	Hepatocellular carcinoma	0.95	0.5
2	Liver cirrhosis	0.69	0.5
3	Hemangioma	0.43	0.43
4	Hepatocellular carcinoma	0.95	0.57

V max=peak systolic velocity (m/sec)

R I=resistive index

後期に灌流静脈の描出を認めた。

4) 動静脈シャントを有する動脈のドプラー所見 (Table 8)

シャント部へ向かう動脈から4例中3例で異常な高速血流(>0.63m/sec)を認め、4例中3例で異常に低いRI(<0.52)を認めた。この両者の所見を同時に示すものは2例で見られた(Fig. 12)。動静脈シャントを呈さなかった腫瘍の辺縁から得られた動脈性拍動波でこの両者の所見を同時に呈する例は認めなかった。

IV. 考 察

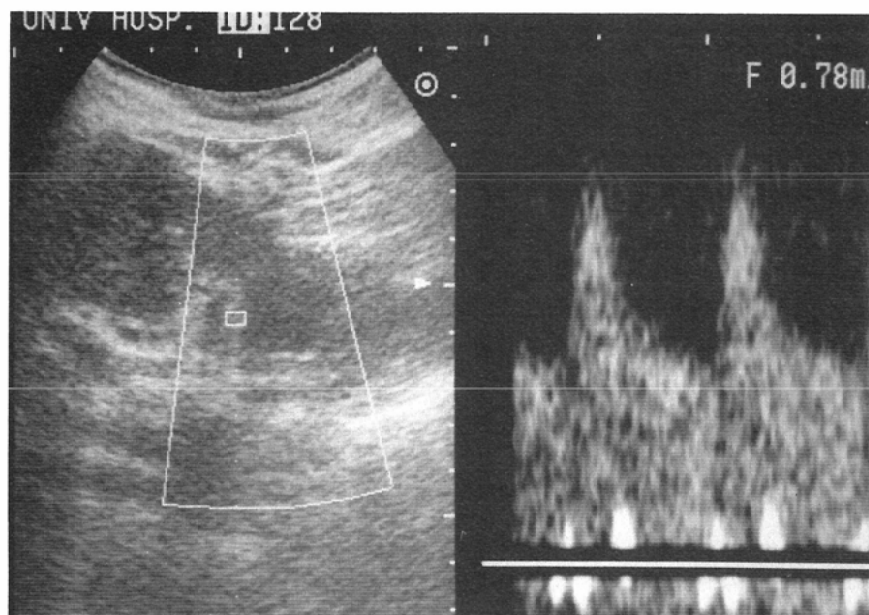
肝腫瘍の栄養血管がもっぱら肝動脈による事はよく知られた事実であり、非腫瘍肝における肝内動脈の超音波ドプラーによる検出能や信号の性状

を検討しておくことは、腫瘍性病変の vascularity を評価する際に重要なことである。非腫瘍肝における検討では、3.5MHzの周波数を使用して肝内動脈(A3)から信号を検出するためには0.7mm程度の動脈径が必要であった。ドプラー信号の検出に関しては、その血管内の血流速度、超音波ビームに対する血管の角度、ヘマトクリット値、血管の深さなどが影響するために¹⁶⁾¹⁷⁾、同じ周波数を使用しても条件が良ければより細い動脈から信号が得られるであろう。3.5MHzより高い周波数では超音波の減衰が強くなり深部での検出感度が低下する¹⁶⁾¹⁷⁾。したがって一概に検出能が高まるとは言えないが、減衰が余り問題とならない浅い部位においては、血液からの受信信号の強さが周波数の4乗に比例することや¹⁶⁾¹⁷⁾、低流速に対する感度が高周波数で増加すること²⁰⁾を考えれば、5MHzではさらに細い動脈からの信号検出も可能である。重要なことは超音波ドプラー法において血流信号を検出するためには、ある程度の動脈径が必要であるということであり、原理的には静脈系でも同様である。このことは腫瘍部でも当はまると考えるべきであり、均一に強く濃染する腫瘍や強い血管増生を伴った腫瘍の任意のどの部位か



a

Fig. 12 a: Conventional angiography shows arterio-venous (portal) shunt (arrows) in left lobe. b: Arterial flow with abnormally high velocity (0.69m/sec) and low resistive index (0.5) was obtained from the artery running parallel to the umbilical portion of the left portal vein.



b

らでも信号が検出できるものではないということが強く支持している。今回の検討でも腫瘍内部から信号が検出された28/38 (74%) 結節で内部に明瞭な vascularity を有していた。しかし、内部から信号が検出された例でも、血管造影上は明らかな vascularity を有さないものがあることも事実である。腫瘍内部から信号が検出された38結節のうち26結節で信号の発生源を詳細に検討したが、5結節で信号の発生源が不明であった。これら5結節のうち3結節は5MHzの周波数を用いて動脈

性拍動波が検出され、2結節は3.5MHzの周波数を用いて定常波が検出されたものである。これらのドプラー信号の発生源をどう考えるべきであろうか。

腫瘍内部の動脈性拍動波の起源は栄養動脈に連続する腫瘍内の動脈性血管と考えるのが妥当であろう²⁾。3.5MHzの周波数を用いるならば、1本の動脈性の腫瘍血管から信号を得るには前述したごとく0.7mm程度の血管径が必要と考えられ、この太さの血管ならば血管造影にて明瞭に描出し

得る。5MHzを用いるならばさらに細い血管から信号検出が可能である。血管造影における検出能は balloon 閉塞下の肺動脈の拡大撮影において 0.1mm 程度とされている²²⁾ことから、場合によっては (slow infusion による肝動脈造影など)、5MHz で検出できる動脈を血管造影が描出し得ないことは十分に考えられる。腫瘍内部の定常波に関しては異常に拡張した腫瘍血管や血洞が起源の一つと考えられた。一般に動脈は分岐を繰り返して末梢に行く程拍動性が弱まり、また腫瘍血管では壁構造が薄く、圧調節機構を欠くとされている²⁴⁾ことから、腫瘍内でも末梢の腫瘍血管から血洞においては定常波を示すと考えられる。その場合に、ドプラー信号を得るためにはある程度の血管径が必要であることから、血管造影で認められる拡張した末梢の腫瘍血管や血洞が定常波の発生源となると考えられる。しかしながら、定常波の起源となり得るこれらの血管や血洞に造影剤が十分な濃度で到達しないことは十分に考えられることであり、これらの定常波の発生源を血管造影にて描出し得ない可能性があると思われる。定常波の起源として拡張した腫瘍血管や血洞を考えた場合、この所見は HCC に特徴的とされているが²⁴⁾、今回の検討では MLC 2 結節、CCC 1 結節からも定常波が検出された (Table 3)。CCC については腫瘍に巻込まれた門脈枝が定常波の起源と考えられた。MLC については 2 結節ともに 8cm を超える巨大な hypervascular な腫瘍であり、1 結節では腫瘍内に拡張した腫瘍血管を多数伴っていた。このことから、hypervascular な MLC や門脈枝を巻込んだ CCC 等の症例を除けば、一般的には MLC や CCC 内部から定常波を検出する頻度は低いと考えられる。また、血管腫で定常波が検出されることが報告されているがやはりその頻度は低く、HCC との鑑別点の一つになると考えられる。したがって血管造影の分解能や描出能との関係で例外は少なからず存在すると考えられるが、腫瘍内部からドプラー信号が得られれば、その腫瘍は明瞭な vascularity を有すると推定でき、加えて定常波が検出されれば HCC を疑うことができる。しかし、腫瘍内部からの信号検出の頻度は

小肝腫瘍では低く、MLC や CCC でも腫瘍径が増大すれば、全体としては hypovascular でも内部にある程度の太さの血管増生を伴っていたり、既存の血管に浸潤していたりしており、信号の検出は可能である。また AH では内部に動脈を伴った門脈枝や肝静脈を有することがあり²⁵⁾、信号検出可能であるということは注意しなければならない。

内部に血管を有することがない肝嚢胞の検討で明らかになったことは、B-mode 上に表示される sample volume が嚢胞内にあっても嚢胞辺縁を走行する脈管からドプラー信号が検出されるということであり、これは B-mode 上の sample volume よりも実際に信号が検出可能な真の sample volume が大きいことを示している。したがって超音波ドプラー法では検出した信号の発生源を特定することに対する信頼性は低い。嚢胞辺縁からのドプラー信号の検出は、嚢胞の径が約 1~4cm と大きなものではないにも拘わらず 5 例全例で認められ、肝内門脈や肝静脈が嚢胞に近接して、あるいは嚢胞を取巻くように走行しているのがカラードプラー断層で認められた。このことは肝臓という臓器が豊富な血管を有していることを考えれば不自然なことではなく、数 cm 大の腫瘤があればその辺縁に肝内脈管が近接して走行しているのが自然な状態と考えられる。B-mode 上に表示される sample volume の大きさより真の sample volume が大きいということ、腫瘍に近接して多くの脈管が存在する可能性やその脈管の存在を B-mode 画像では評価困難な場合がある²⁶⁾ということを考えれば、パルスドプラー法において腫瘍の辺縁から、例えば動脈性の信号が検出されたとしても、その信号が腫瘍内部から検出されたか腫瘍に近接した脈管から検出されたかの判断はできない。実際に今回の検討においても 3cm 以下の腫瘍辺縁から得られる信号の検出率や性状には、腫瘍の vascularity による明らかな差は見られなかった。しかし、このことは B-mode 上に表示される sample volume の精度や信頼性が十分に向上すれば解決されるかもしれない。

近年カラードプラー断層法による肝腫瘍の vas-

cularity 診断, 鑑別診断が行われ, 有用であるとの報告が見られる^{5)9)~12)15)}. それらの報告では hypervascular な HCC では腫瘍周囲を取巻く脈管が多く認められ, hypovascular な HCC や AH, MLC では認めにくいとされている⁵⁾⁹⁾¹¹⁾¹⁵⁾. 今回の検討では腫瘍の vascularity に直接関係を持ち得る肝動脈が腫瘍周囲を取巻くように存在すること, 腫瘍の vascularity との間には明らかな関係は認めなかった. しかしながら, HCC や AH に比べて MLC では辺縁を取巻く肝動脈はみられず, パルスドプラー法においても辺縁からのドプラー信号の検出率が低かったことは今までの報告と同様であった. 腫瘍の種類によって腫瘍周囲を取巻く脈管(動脈)の多寡に差があるということが腫瘍の vascularity の差によるものではないことになると, その原因としては腫瘍の背景肝の状態や腫瘍の発育形態の差によるものと考えられる. HCC は肝硬変を背景として膨張性, 圧排性に発育して来るのに対し, MLC などでは正常肝を背景として浸潤性に発育してくる²⁷⁾. また肝硬変では肝が萎縮することにより単位体積あたりの血管数が増加し, 正常肝に比べて肝動脈血流が優位になっている. このような状態で膨張性, 圧排性に発育してくる HCC では腫瘍辺縁に脈管を集積させ易く, 動脈の信号も検出し易いと考えられる. 佐々木らは, 肝癌境界部には動脈の圧排転位と本来の門脈枝の緻密な集積を認めること²⁴⁾, AH でも境界部に肝癌とは様相を異にするものの動脈の圧排転位が見られることを報告している²⁵⁾. つまり肝硬変を背景とする腫瘍性結節では, その vascularity とは関係なく, 正常肝を背景として浸潤性に発育してくる MLC などと比べて, 腫瘍周囲に脈管(動脈)を伴い易いと言える. そして, この所見は腫瘍径の増大に伴って高頻度になるであろう. もちろん, hypervascular な腫瘍では周囲の脈管が栄養動脈や灌流静脈として拡張し, カラードプラー断層で検出しやすくなると考えられるし, 辺縁から内部に腫瘍血管が侵入するのが確認され得る (Fig. 5).

腫瘍辺縁からのドプラー信号の検出の有無や腫瘍を取巻く動脈の有無が, 腫瘍の vascularity と

明らかな関係がないとしても, 腫瘍の vascularity と腫瘍径が増大すれば, 腫瘍辺縁の肝動脈の Vmax が速くなることが認められた. つまり, 腫瘍の要求血液量と栄養動脈の流速に相関があると考えられる. このことは, 腫瘍辺縁の動脈の Vmax から腫瘍の vascularity の評価の可能性を示しているものと考えられるが, 異常な高速血流 (>0.63m/sec と設定した)を示すのは5cm以上の腫瘍であり, 小肝腫瘍の vascularity 評価には限界があると考えられる.

RI は pulsatility index (PI: $PI = V_{max} - \text{拡張期最低流速} / \text{時間平均流速}$)と同様に末梢の血管抵抗を示す一つの指標であり, 同じ血管径と Vmax を有する血管を比べた場合に, RI が低い程血流量が多いと判断できる. 今回の検討では, 腫瘍辺縁の動脈から異常に低い RI を示す信号を2結節で認め, いずれもいわゆる hypervascular な腫瘍であったが, 腫瘍辺縁の動脈の RI と腫瘍の vascularity, 腫瘍径には関連は見られず, RI による腫瘍の vascularity 評価は困難と考えられる. しかし, 染田ら²³⁾は, 肝細胞癌における肝動脈の血行動態を検討し, 腫瘍と同側葉の肝動脈の PI は腫瘍径の増大に連れて低下することを報告している. この結果の違いは, 症例の差によるものであろう. 染田ら²⁸⁾は HCC のみを対象とし, 腫瘍径が大きいものを多く含んでおり, PI 低下の原因も大きな HCC 例で高頻度に見られた門脈腫瘍栓による動門脈シャントをその一因としている. 今回の検討でも, 明らかな動静脈シャントを有する動脈のドプラー所見の特徴は, 高速流とともに低い RI を呈することであった. つまり, RI の低下は腫瘍の vascularity や腫瘍径の増大による要求血液量の増大を反映していると考えられるよりも, 腫瘍を介する動静脈シャントの有無をより反映していると考えられるのが適当であろう. このことは, HCC 診断にとって重要な所見であると考えられるが, 小さい HCC では認め難い所見であり, 小肝腫瘍の鑑別診断での有用性は期待できない.

腫瘍を介する動静脈シャントに関しては, 腫瘍内から検出される高速血流信号と関係があると報告されている³⁾⁴⁾⁶⁾¹³⁾¹⁴⁾²³⁾. しかし, 今回の検討では

腫瘍内の高速血流信号と動静脈シャントに関係は見られず、MLCやCCCでも認められた。この原因としては、腫瘍の肝動脈浸潤による狭窄部で高速流が発生した可能性が考えられ、腫瘍内からの信号による動静脈シャントの有無の評価は困難と思われる。

以上のことから超音波ドプラー法での肝腫瘍のvascularity診断に関してはhypervascularな腫瘍を推定可能であると言える。つまり、腫瘍内から信号が検出されるか、カラードプラー断層にて腫瘍内に血管を認めた場合には、その腫瘍は血管造影上明確な血管増生を伴ったものであるとかなりの確率をもって診断でき、腫瘍辺縁から高速の動脈信号を検出できれば、その腫瘍はhypervascularであるといえる。しかし、これらの所見は小肝腫瘍では認めにくいものである。腫瘍の鑑別診断に関しては、腫瘍の辺縁からドプラー信号が得られるか、腫瘍周囲を取巻くような脈管(動脈)が認められれば、肝硬変を背景として発生してくるHCCの可能性が高くなるが、腫瘍のvascularityを反映するものではなく、AHと小HCCの鑑別診断に有用性は期待しがたい。また腫瘍径が増大すれば腫瘍の種類に関係なく辺縁に脈管を圧排する頻度が高くなると考えられる。腫瘍辺縁から低いRIを示す高速の動脈信号を検出すれば、その腫瘍は動静脈シャントを有すると推定でき、HCCを疑えるが、小HCCでは認めにくい所見である。

肝血管腫に関しては、今回血管造影との対比ができなかったために検討していないが、信号の検出頻度は低いとされており^{3)4)6)8)11)~13)}、小肝腫瘍の鑑別診断における超音波ドプラー法の有用性は、残念ながら低いと言わざるを得ない。

V. 結 語

非腫瘍部の肝内動脈(64例)、肝嚢胞(5例)及び血管造影が施行された肝腫瘍(62例82病巣:61HCCs, 11MLCs, 8AHs, 1FNH, 1CCC)を対象に非侵襲的な検査法である超音波ドプラー法を施行し、肝内動脈からのドプラー信号の検出能と腫瘍のvascularity評価及び鑑別診断における有用性を検討し、以下の結論を得た。

1) 肝内血管及び腫瘍内血管からドプラー信号を得るためにはある程度の血管径が必要であることから(3.5MHzの周波数ではA3から検出可能な最小の動脈径は約0.7mm径)、腫瘍内から信号が検出できればその腫瘍は明瞭なvascularityを有すると高率に診断できる。

2) 拡張した腫瘍血管・血洞が定常波の起源の一つと考えられることから、腫瘍内から定常波を検出できればHCCを疑うことができる。

3) 肝硬変を背景として発生してくるHCCやAHでは、腫瘍辺縁に動脈や門脈を集積させやすいため、腫瘍辺縁からのドプラー信号の検出率が高く、また辺縁を取巻くような肝動脈も認め易いが、腫瘍辺縁からのドプラー信号の検出の有無や辺縁を取巻く肝動脈の有無と腫瘍のvascularityとの間には明らかな関係は認められない。

4) 腫瘍辺縁から得られる動脈性信号のVmaxと腫瘍のvascularity、腫瘍径には相関が見られ、腫瘍辺縁から高速の動脈性信号が検出できれば、その腫瘍はhypervascularといえる。

5) 腫瘍辺縁から得られる動脈性信号のRIと腫瘍のvascularity、腫瘍径には相関は認めない。

6) 腫瘍辺縁から低いRIを示す高速の動脈性信号が得られれば、腫瘍を介する動静脈シャントの存在を推定可能であり、HCCを疑う所見となり得る。

7) 超音波ドプラー法では、いわゆるhypervascularな腫瘍を推定することが可能であるが、小肝腫瘍の鑑別診断における有用性は低い。

稿を終えるにあたり、御校閲を賜りました恩師高島力教授に深謝致します。また、直接のご指導を戴いた松井修助教授に心より謝意を表します。さらに本研究に御協力戴いた教室員各位、金沢大学第一内科(小林健一教授)及び第二外科(宮崎逸夫教授)の諸先生に感謝致します。なお、本研究の一部は文部省科学研究費一般研究C(課題番号02670490)並びに厚生省がん研究助成金(大藤班)の助成を受け、本論文の要旨は第50回日本医学放射線学会総会、第77回日本消化器病学会総会で発表しました。

文 献

- 1) Scutt LM, Zawin ML, Taylor KJW: Taylor KJW: Doppler US. II. Clinical applications. Radiology 174: 309-319, 1990

- 2) Orr NM, Taylor KJW: Doppler detection of tumor vascularity. (In) Taylor KJW, Strandness DE, eds: Duplex Doppler ultrasound, 149—163, 1990, Charchill Livingstone, New York
- 3) Taylor KJW, Ranos I, Morse SS, et al: Focal liver masses: Differential diagnosis with pulsed Doppler US. *Radiology* 164: 643—647, 1987
- 4) Yasuhara K, Kimura K, Ohto M, et al: Pulsed Doppler in the diagnosis of small liver tumors. *Br J Radiol* 61: 898—902, 1988
- 5) Tanaka S, Kitamura T, Fujita M, et al: Color Doppler flow imaging of liver tumors. *AJR* 154: 509—514, 1990
- 6) 中村武史, 森安史典, 川崎俊彦, 他: 腫瘍ドップラー信号による肝細胞癌の診断, 日消誌, 85: 1649—1655, 1988
- 7) 上野規男, 山中桓夫, 木村 健: 超音波パルスドブラ法による腹部腫瘍の血流描出およびその臨床的意義, 日消誌, 86: 1292—1298, 1989
- 8) 伊藤洋二, 川内章裕, 福成信博, 他: 超音波ドブラ断層法を用いた肝腫瘍鑑別診断法に関する研究, 超音波医学, 17: 260—266, 1990
- 9) 田中幸子, 北村次男, 中西克己, 他: 小肝癌の診断におけるカラードブラ法, 日超医論文集, 57, 9—10, 1990
- 10) 廣岡芳樹, 内藤靖夫, 三竹正弘, 他: Color Doppler echography による肝癌の検討, 日超医論文集, 57, 85—86, 1990
- 11) 田中克明, 三井このみ, 岡崎 博, 他: カラードブラによる肝腫瘍の vascularity 診断, 日超医論文集, 57, 87—88, 1990
- 12) 小熊資男, 手塚勇人, 玉野正也, 他: カラードブラ法による肝内腫瘍性病変の検討, 日超医論文集, 57, 91—92, 1990
- 13) Ohnishi K, Nomura F: Ultrasonic Doppler study of hepatocellular carcinoma and comparison with other hepatic focal lesions. *Gastroenterology* 97: 1489—1497, 1989
- 14) 安原一彰, 大藤正雄, 松谷正一, 他: 超音波ドブラ法による肝細胞癌腫瘍血流の検討, 腹部血管造影所見との対比, 肝臓, 31: 550—557, 1990
- 15) 有田洋右, 安原一彰, 古瀬純司, 他: 肝腫瘍性病変における超音波カラードブラ画像とその分類, 肝臓, 30: 1637—1638, 1989
- 16) Taylor KJW, Holland S: Doppler US. I. Basic principles, instrumentation, and pitfalls. *Radiology* 174: 297—307, 1990
- 17) Burns PN: The physical principles of Doppler and spectral analysis. *J Clin Ultrasound* 15: 567—590, 1987
- 18) Matsui O, Kadoya M, Kameyama T, et al: Adenomatous hyperplastic nodules in the cirrhotic liver: Differentiation from hepatocellular carcinoma with MR imaging. *Radiology* 173: 123—126, 1989
- 19) Matsui O, Kadoya M, Kameyama T, et al: Benign and malignant nodules in cirrhotic livers: Distinction based on blood supply. *Radiology* 178: 493—497, 1991
- 20) 近藤祐司: 超音波ドブラの原理, 画像診断, 9: 570—575, 1989
- 21) 箕輪和士, 島田啓子, 富田周介, 他: カラードブラ法における肝細胞癌の拍動性血流シグナル: US angiography との対比, 日超医論文集, 57, 89—90, 1990
- 22) Greenspan RH: Magnification angiography. (In) Abrams HL, ed: Abrams angiography. 3rd ed, 205—216, 1983, Little, Brown and Company, Boston
- 23) Taylor KJW, Ramos I, Carter D, et al: Correlation of Doppler US tumor signals with neovascular morphologic features. *Radiology* 166: 57—62, 1988
- 24) 佐々木憲一, 奥平雅彦: 佐々木憲一, 奥平雅彦: 肝癌の血管構築. 服部 信編, 内科 Mook (18) 肝癌, 20—29, 1982, 金原出版, 東京
- 25) Sasaki K: Adenomatous hyperplasia in liver cirrhosis: An approach from a microangiographical point of view. *GANN Monogra Cancer Res* 25: 127—140, 1980
- 26) Grant EG, Perrella R, Tessler FN, et al: Budd-Chiari syndrome: The results of duplex and color Doppler imaging. *AJR* 152: 377—381, 1989
- 27) 中島敏郎, 神代正道: 肝細胞癌—病理アトラス—, 第 1 版, 83—84, 247—248, 1986, Springer-Verlag, 東京
- 28) 染田 仁, 森安史典, 濱戸教行, 他: 肝細胞癌における肝内動脈の血行動態—超音波ドブラ法による検討, 日超医論文集, 57, 99—100, 1990