

血管内超音波断層法によるレーザー末梢血管形成術直後の血管内病変の評価：血管造影法との比較

*Evaluation of the Lumen-Plaque-Wall Alterations by Intravascular Ultrasound Imaging After Percutaneous Transluminal Laser Angioplasty in Peripheral Arteries : Comparison With Angiographic Findings*

松村 誠  
木村 壮介  
尾本 良三  
島村由紀男  
藤内 伸子  
許 俊 鋭  
横手 祐二

Makoto MATSUMURA  
Sosuke KIMURA  
Ryozo OMOTO  
Yukio SHIMAMURA  
Nobuko FUJIUCHI  
Shunei KYO  
Yuji YOKOTE

**Abstract**

Intravascular ultrasound imaging was compared to angiography for evaluation of the changes in arterial lumen, atherosclerotic plaque and arterial walls after percutaneous transluminal laser angioplasty (PTLA) in peripheral arteries. Seventeen procedures using an argon laser angioplasty system (LASTAC system II) were performed in 13 patients with totally occluded lesions in the superficial femoral and iliac arteries. During or immediately after PTLA, a 30 MHz intravascular ultrasound catheter was inserted into the channel created by laser irradiation and adjunctive balloon dilatation. The outcome of PTLA was considered morphologically successful if the residual stenosis measured by intravascular ultrasound was 75% or less. Intravascular ultrasound showed eccentric plaques in 12 (71%), calcified plaques in 11 (65%), intraluminal thrombi in 2 (12%) and arterial wall injuries in 13 (76%) of the 17 lesions. PTLA was successful in 13 lesions and failed in 4. Occurrence of arterial dissections (38%) and mean residual stenoses ( $44 \pm 13\%$ ) were significantly ( $p < 0.05$ ) lower in successful PTLA than in unsuccessful PTLA (100%,  $89 \pm 3\%$ ). Eccentric stenoses, calcified plaques and arterial wall injuries were associated with poor success. Intravascular ultrasound detection of eccentric stenoses (71%), calcified plaques (65%) and arterial wall injuries (76%) was better than by angiography (29, 29, 47%). However, no significant correlation between intravascular ultrasound and angiographic findings could be found in quantitative estimation of the residual stenoses. Intraluminal thrombi were identified only by intravascular ultrasound. Angiography showed abnormalities in five (83%) of six lesions with medial injuries demonstrated by intravascular ultrasound, but none of the seven lesions with intimal injury. Intravascular ultrasound provides accurate diagnosis of eccentric stenosis, calcification, and arterial wall injury, and can quantitatively estimate residual stenosis and arterial wall injury during and immediately after PTLA in peripheral artery disease.

**Key Words**

**intravascular ultrasound, laser angioplasty, angiography, peripheral artery disease**

## はじめに

レーザー血管形成術は動脈硬化性病変を直接、蒸散・焼灼させて再開通を得るものである。従来の機械的に病変部を拡張させるバルーン血管形成術に比較して、動物実験では術後早期の血管損傷、再狭窄が少なく、また、長期開存性に優れていることから<sup>1,2)</sup>、臨床例でも同様の効果が期待されている新しい治療法である。しかし、術後の評価法として用いられている血管造影法は異常病変の検出率が低く<sup>3-5)</sup>、また血管内視鏡は血栓やアテロームの観察に優れているものの<sup>6,7)</sup>、血管壁損傷の評価に一定の限界を有するため<sup>8)</sup>、臨床例におけるレーザー治療直後の血管内病変に関する詳細な検討は少ない<sup>6,7)</sup>。一方、Pandian ら<sup>9)</sup>や Bom ら<sup>10)</sup>によって研究・開発されてきた極小高周波型血管内超音波断層法は、末梢血管や冠動脈の内腔と血管壁の観察が可能であり、他の検査法よりアテロームや血管壁の形態診断に対する信頼性は高い。

本研究では、血管内超音波断層法を用いて閉塞性動脈硬化症例におけるレーザー血管形成術直後の血管内病変を評価するとともに、従来の血管造影法による評価との違いについて検討した。

## 方 法

対象は閉塞性動脈硬化症の下肢動脈完全閉塞例 13 例の 16 肢、17 病変である。年齢は 54-76 歳 (平均 65.2 ± 6.7 歳)、男 10 例、女 3 例である。重症度は Fontaine 分類 II 度 10 例、III 度 3 例で、頸部/上腕部収縮期血圧比 (ankle brachial pressure index: ABPI) は  $0.61 \pm 0.14$  であった。また、レーザー治療血管は外腸骨動脈が 1 本、浅大腿動脈が 16 本、閉塞距離は 2-35 cm (平均  $16.3 \pm 10.2$  cm) であった。

使用レーザー治療装置は米国 FDA で認可され、現在、当大学で臨床治験中の GV メディカル製アルゴンレーザー装置 LASTAC system II で、以下の手順に従って病変部を直接照射した。まずセンターリングバルーンが先端に装着された 5F のカテーテル内に、透視下で直径 200  $\mu$ m の bare fiber (Fig. 1-A) を挿入した。バルーン拡張 (4 気圧) により血流を遮断し、照射方向を血管と同軸方向に固定させた後、ファイバー先端部を閉塞部から約 2 mm 離し、1 回の照射出力を 20 J (10 W, 2 sec) に設定して病変部を照射した。なお本システ

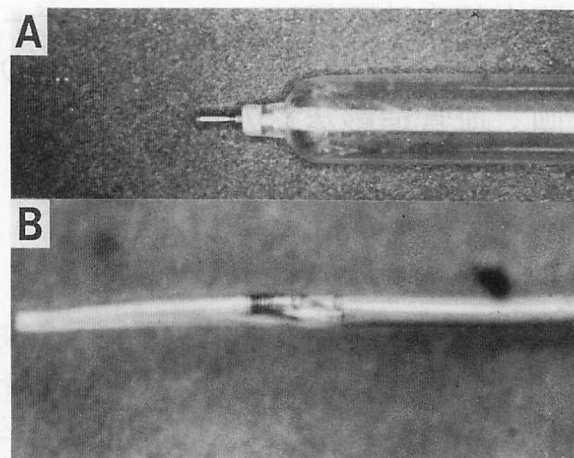


Fig. 1 Photograph of a bare fiber tip and centering balloon in the power track (A) and intravascular ultrasound catheter tip (B)

ムは、照射前後 2 秒間、自動的に毎秒 0.5 ml の速度で生理的食塩水を注入する機能 (自動フラッシング機構) と組織から反射してくる光エネルギーを感知して照射出力を  $\pm 20\%$  の範囲内で調節あるいは停止する機能 (フィードバック機構) を有しており、操作中、確実な血液遮断と照射部位の急速冷却、さらに異常照射の防止が自動的に行われた。再開通後、内腔が十分に得られない場合、血管拡張用バルーンカテーテル (径 4-8 mm) を用いて 6 気圧、1 分間で血管拡張術を施行した。

血管内超音波検査は、術中あるいは術直後に米国 CVIS 製 5F, 30 MHz の血管内超音波カテーテル (Fig. 1-B) を用いて行い、各部位で血管の横断画像から内腔とアテローム、血管壁の関係、石灰化や壁に血栓の有無、残存狭窄と血管壁損傷について評価し、血管造影所見と比較検討した。

## 1. レーザー血管形成術直後の血管内病変の評価と判定法

## 1) 血管内超音波断層法 (Figs. 2-4)

血管内腔 (アテローム) の偏心性: 横断面上、血管内腔がほぼ円形で全周性にアテロームを認めるものを求心性、それ以外を偏心性とした。

残存狭窄率 (アテローム残存率): 血管断面積 (中膜内血管横断面積) に対するアテローム残存面積の割合 (%) で求めた。

石灰化: 血管壁に他の部位と比べて明らかにエコー輝度の高い領域を認め、shadowing やエコーの脱落を

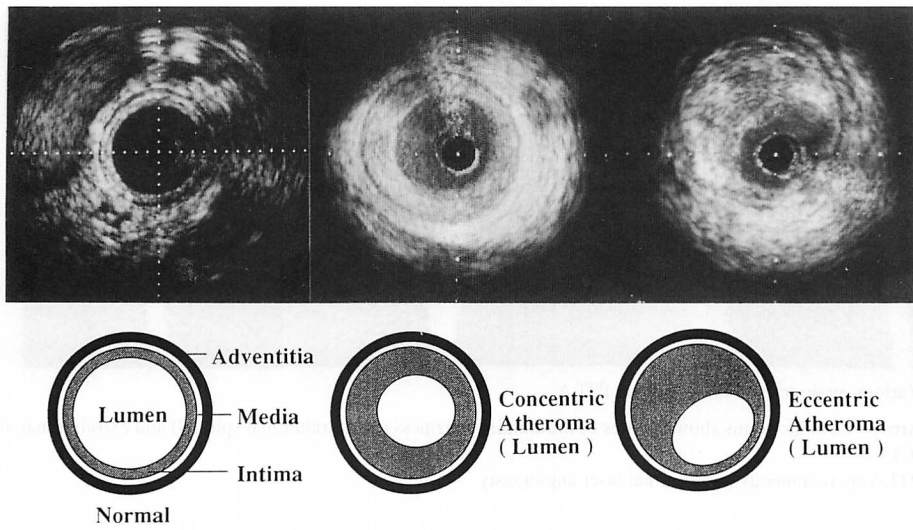


Fig. 2 Intravascular ultrasound images of the normal artery, concentric and eccentric atherosclerotic plaques

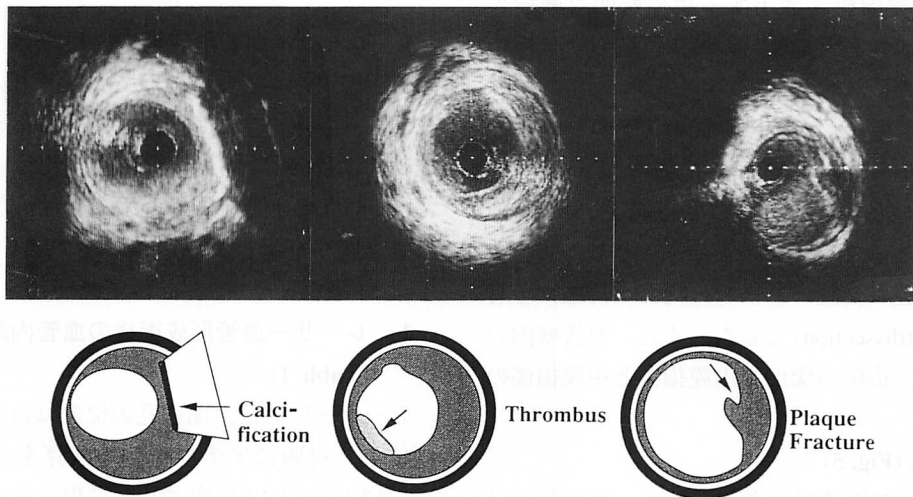


Fig. 3 Intravascular ultrasound images of the calcified plaque, intraluminal thrombus, and fracture of the atherosclerotic plaque

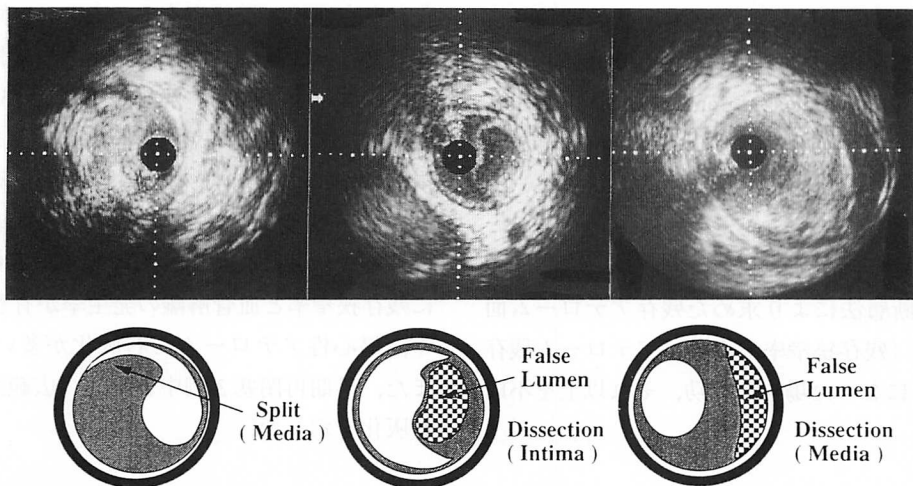


Fig. 4 Intravascular ultrasound images of the transmedial split, subintimal and intramedial dissections

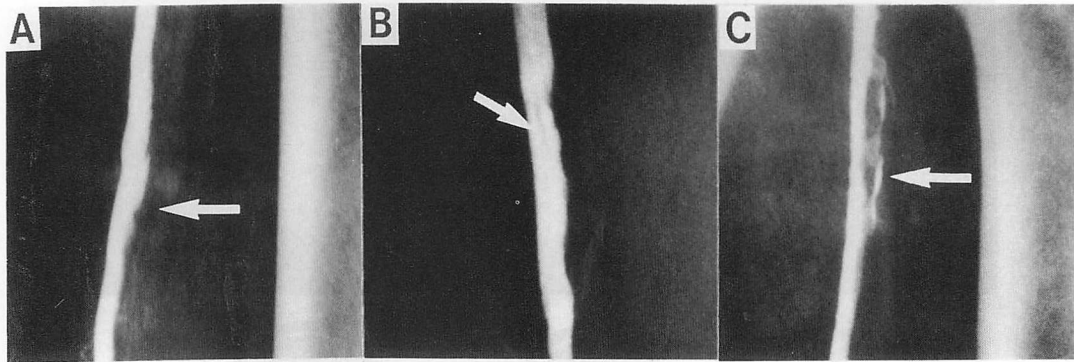


Fig. 5 Various angiographic findings after PTLA

Arrows on angiograms showing sites of intraluminal haziness (A), intraluminal split (B) and extraluminal dissection (C).

PTLA=percutaneous transluminal laser angioplasty

伴った場合を陽性とした。

**壁在血栓：**血管内腔に突出する境界鮮明な腫瘍エコーで、輝度が他のアテローム領域より明らかに低い場合を陽性とした。

**血管壁損傷：**形態上、血管内腔側のアテローム表面に明らかな凸凹不整、剥離 (plaque fracture, tear) を示すものや、アテローム辺縁から血管壁に沿って間隙 (crack) を認めるものすべてを亀裂 (split) とし、血管壁内に本来の血管腔 (真腔) と異なる内腔 (偽腔) を有する所見を解離 (dissection) とした。また、血管壁内の存在部位により、損傷の深度を内膜損傷と中膜損傷の2つに分類した。

## 2) 血管造影法 (Fig. 5)

石灰化の有無はX線透視により判断し、狭窄形態は Rosch ら<sup>11)</sup> の分類に従い、残存狭窄率は本来の血管に対する狭窄の割合を面積比率 (%) で求めた。また、血管壁損傷の評価は Holmes ら<sup>12)</sup> の PTCA 後の冠動脈造影所見による分類を用いて、smooth walled dilatation を非損傷、intraluminal haziness と aneurysmal dilatation, split and dissection を壁損傷 (arterial wall injury) とした。

## 2. レーザー血管形成術結果の判定

血管内超音波断層法により求めた残存アテローム面積が血管断面積 (残存狭窄率あるいはアテローム残存率) の 75% 以下になった場合を成功、それ以上を不成功と判定した。

## 結 果

### 1. レーザー血管形成術の成績

17 病変中 14 病変においてレーザーによる再開通に成功し、さらに、13 病変で良好な拡張が得られ、手術成功率は 76% であった。また、術後 1 ヶ月の開存率は、3 部位に血管造影で再閉塞を認めたが、10 部位は良好な開存を示し、77% であった。

### 2. レーザー血管形成術後の血管内超音波断層所見 (Table 1)

レーザー照射後、開通孔の位置は血管の中心部から偏位し、対側にアテロームの残存を認めることが多く、17 病変中 12 病変 (71%) に偏心性のアテロームを認めた。平均残存狭窄率は  $47 \pm 20\%$  で、10 病変に 50% 以上の残存狭窄を認めた。血管壁の所見では石灰化と壁在血栓、壁損傷をおのおの 11 病変 (65%)、2 病変 (12%)、13 病変 (76%) に認めた。損傷の形態別では亀裂が 4 病変 (24%)、解離が 9 病変 (53%)、損傷の深度別ではアテロームや内膜層内にとどまる損傷 (内膜損傷) が 7 病変 (41%)、中膜に達する損傷 (中膜損傷) が 6 病変 (35%) であった。手術成績との関係では、不成功例は成功例に比較して、術中あるいは術後に残存狭窄率と血管解離の発生率が有意に ( $p < 0.05$ ) 高く、偏心性アテロームと石灰化が多い傾向を示した。また、早期再閉塞 3 例中 2 例は、広範囲に及ぶ解離と石灰化を示した。



**Table 1** Intravascular ultrasonic findings and results of PTLA

Intravascular ultrasound	Successful PTLA n=13	Unsuccessful PTLA n=4	p value*
Eccentric plaque (stenosis)	8 (62%)	4 (100%)	NS
% plaque area (% stenosis)	44±13%	89±3%	<0.05
Calcification	7 (54%)	4 (100%)	NS
Intraluminal thrombus	2 (15%)	0 (0%)	NS
Arterial wall injury	9 (69%)	4 (100%)	NS
Split (split and tear)	4 (31%)	0 (0%)	NS
Dissection	5 (38%)	4 (100%)	<0.05

\* successful vs unsuccessful PTLA

NS=not significant. Other abbreviations as in Fig. 5.

**Table 2** Comparison of the intravascular ultrasonic (IVUS) and angiographic findings for changes in the arterial lumen, atherosclerotic plaque and wall

	IVUS n=17	Angiography n=17	p value*
Eccentric plaque (stenosis)	12 (71%)	5 (29%)	<0.05
% plaque area (% stenosis)	47±20%	40±23%	NS
Calcification	11 (65%)	5 (29%)	<0.05
Intraluminal thrombus	2 (12%)	0 (0%)	NS
Arterial wall injury	13 (76%)	8 (47%)	NS

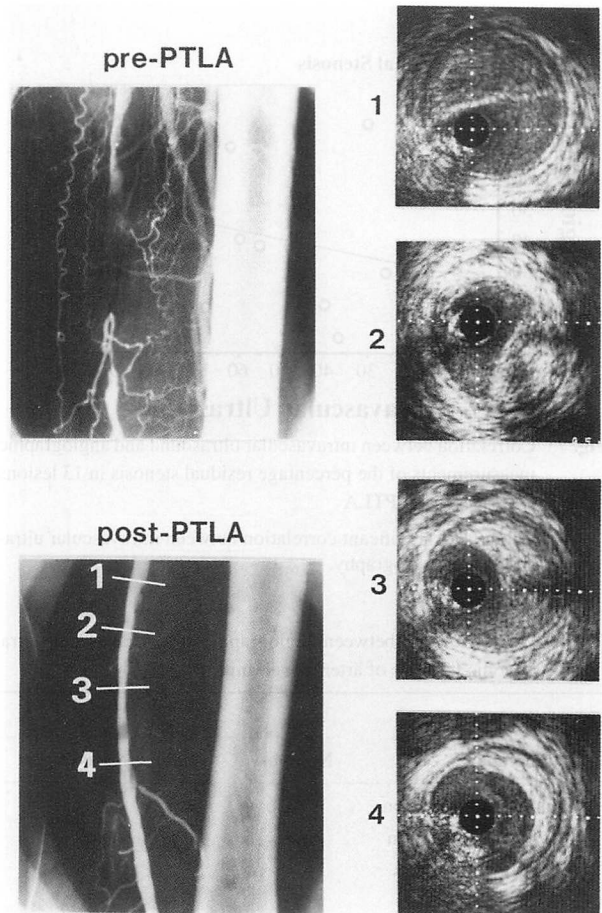
\* IVUS vs angiography by analysis of variance or chi-square test

### 3. 血管内超音波断層法と血管造影法の比較 (Table 2)

術中あるいは術後の狭窄形態の評価において偏心性狭窄は、血管内超音波断層法で71%に、血管造影法で29%に認められ、後者で高率 ( $p<0.05$ ) に観察された。各所見の対比では、血管内超音波断層法で求心性狭窄を示した5病変中4病変は血管造影法でも同様の所見を呈したが、偏心性狭窄を示した12病変中8病変は血管造影法で偏心性を示さず (Fig. 6), 両検査法による一致率は47% (8/17病変) であった (Table 3)。

石灰化はX線透視(29%)よりも超音波(65%)で高率 ( $p<0.05$ ) に認められたが、壁在血栓の検出率は両法とも低かった。残存狭窄の定量的評価では、血管内超音波断層法による狭窄率は血管造影法と有意差がなく、また、両法の測定値にも有意な相関関係 ( $r=0.276$ ) を認めなかった (Fig. 7)。

血管壁損傷は血管内超音波断層法で76%に、血管造影法で53%に認められ、発生率の評価において両方法



**Fig. 6** Angiograms before and after PTLA and intravascular ultrasound images after PTLA in a patient with a totally occluded lesion of the femoral artery

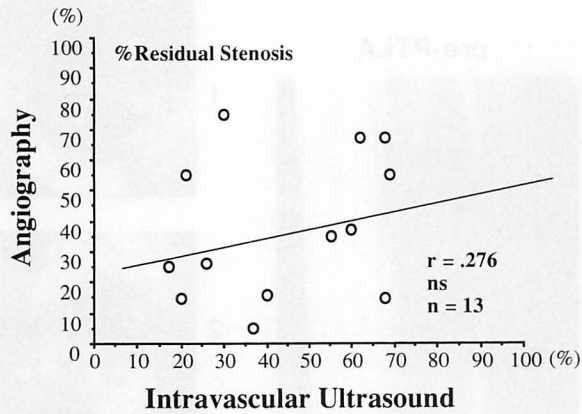
Angiogram (bottom) shows the concentric and mild residual stenosis. However, intravascular ultrasound images clearly reveal the eccentric atherosclerotic plaques at sites 1-3.

**Table 3** Estimation for eccentricity of the residual stenosis

IVUS	Angiography	
	Eccentric	Concentric
Eccentric	4	8
Concentric	1	4

Abbreviations as in Table 2.

間で有意差を示さなかった。しかし、各所見の対比では、血管造影上、aneurysmal dilatation や intraluminal haziness など split and dissection 以外の異常所見を示す部位でも、血管内超音波断層法で解離を認めた(4病変中3病変)。また smooth walled dilatation を示し壁損傷なしと判断された部位においても、血管内超音波断層法では亀裂や解離を呈する例があり (Fig. 8), 血管造影



**Fig. 7** Correlation between intravascular ultrasound and angiographic measurements of the percentage residual stenosis in 13 lesions with successful PTLA

There is no significant correlation between intravascular ultrasound and angiography.

**Table 4** Relationship between angiographic and intravascular ultrasonic findings of arterial wall injuries

Angiography	IVUS		
	No injury	Split	Dissection
Smooth wall dilatation	4	2	2
Aneurysmal dilatation	-	-	1
Intraluminal haziness	-	1	2
Split and dissection	-	1	4

**Table 5** Angiographic detection of arterial wall injuries

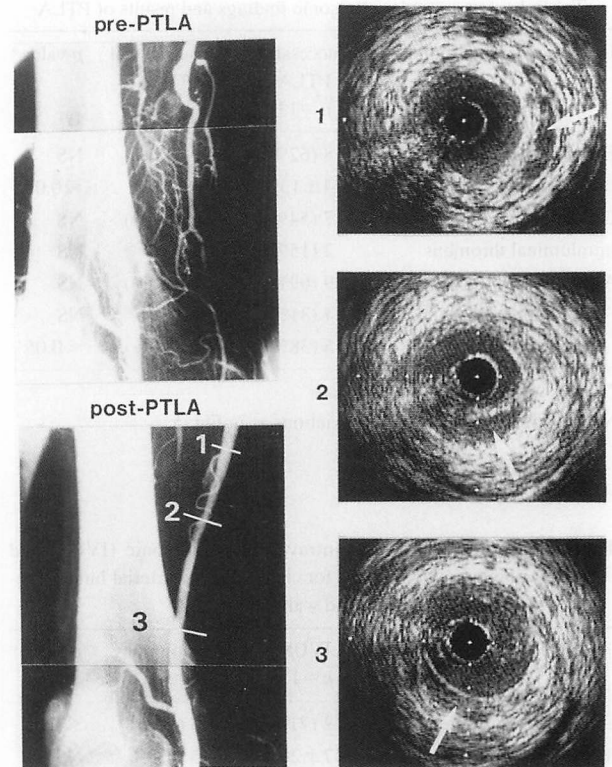
Morphology of wall injury		} NS*
Split	1/4 (25%)	
Dissection	4/9 (44%)	} p<0.05*
Depth of wall injury		
Intima	0/7 (0%)	
Media	5/6 (83%)	} p<0.05*
Total	5/13 (38%)	

\* Split vs dissection, intima vs media by chi-square test

で異常を認めなかった8病変中4病変(50%)において、壁損傷所見を認めた(Table 4)。超音波所見を基準とした場合、損傷の形態と深度別における血管造影法による検出率は、解離(45%)や中膜損傷を示す部位(83%)で高く、亀裂(25%)や内膜損傷を示す部位(0%)で低い傾向を示した(Table 5)。

### 考 案

血管内腔に直接、超音波カテーテルを挿入し、組織



**Fig. 8** Angiograms before and after PTLA and intravascular ultrasound images after PTLA in a patient with a totally occluded lesion of the femoro-popliteal artery

Angiogram (bottom) shows a smooth-walled dilatation. Intravascular ultrasound images reveal the intramedial dissection with false lumen at site 1, a split at site 2, and subintimal dissection at site 3.

や臓器を計測あるいは、観察する血管内超音断層波法は歴史的には古く、1956年のCieszynski<sup>13)</sup>の報告に始まる。彼はイヌの血管、心腔内に単一素子の探触子を挿入し、心室壁からの反射波を記録した。その後、尾本らは1962年より基礎実験を積み重ね<sup>14-20)</sup>、1967年、初めて臨床例を報告した<sup>21,22)</sup>。これは、大腿静脈から右房内に超音波カテーテルを挿入し、探触子を回転させることにより心臓の横断面を描出する方法であり、心房中隔欠損部の観察に成功した。しかし、当時はまだカテーテル類や超音波機器、装置の技術レベルが低く、また、血管形成術などの治療法が確立されていない時代であり、本法の必要性や意義が十分認められず、広く臨床に応用されるまでには至らなかった。ところが、最近、血管形成術が世界的に普及し、また、カテーテル類や超音波機器、探触子の技術開発により、細い血管の内腔や壁の観察が可能な極小高周波血管内超音波探触子が登場<sup>9,23)</sup>して以来、本法は動脈硬化

性病変の観察にとどまらず、血管形成術前後の評価にも有用な検査法<sup>5,24)</sup>として注目されている。

一方、レーザーを用いた経皮的血管形成術の臨床応用は1984年、Ginsburgら<sup>25)</sup>の大腿動脈における成功例の報告に始まり、その後、多くの施設からさまざまなレーザーシステムを用いた成績<sup>26-28)</sup>が報告されてきた。しかし、いずれの方法も成功率、再狭窄率は同程度であり、現在、まだ開発途上の治療システムである。本研究で使用したアルゴンレーザー治療システムは、これまで直接照射法でしばしば問題となった血管穿孔を防ぐため、誘導カテーテルの先端に照射方向と血管を同軸に保持させるセンターリングバルーンを装着させたものである。そのため、今回、ガイドワイヤーが通過しない高度閉塞病変に応用しても、血管穿孔などの合併症をまったく認めず、Foschiら<sup>28)</sup>の成績と同様、高いレーザー成功率(14/17病変, 82%)を得た。

レーザー血管形成術後早期の病理変化は、これまで組織学的所見や血管内視鏡等により検討されており、照射面の炭化と凝固壊死、内膜の亀裂や解離、中膜弾性繊維の消失などの血管壁損傷と壁在血栓等が観察されている<sup>7,26,29)</sup>。これらの所見は、照射面の炭化と凝固壊死を除いて、通常バルーン血管形成術後の変化とほぼ同様であり、激しい場合、早期に閉塞をきたすこともある<sup>7)</sup>。実際、今回、再開通に成功した後、早期に再開通した3病変中2病変は広範囲に及ぶ中膜に達する解離、1病変は多数の壁在血栓を伴っていた。一般にレーザー血管形成術後の血管壁損傷や血小板沈着の程度は、従来のバルーン血管形成術より軽く、動物実験では再開通や再狭窄の低下が報告されている。この理由としてSanbornら<sup>1)</sup>はレーザーの蒸散効果による内腔表面の平滑性を指摘している。しかし今回、観察した病変の大多数(14/17病変)はレーザー照射だけでなく、開通後バルーンにより機械的な拡張が施されており、血管壁損傷と血栓の発生は両手技の影響を受けているものと思われる。

臨床例におけるレーザー血管形成術直後の血管壁損傷と壁在血栓の発生頻度に関する報告は少なく、今回、われわれの血管内超音波断層法による評価では血管壁損傷が76%(中膜損傷35%)、壁在血栓が12%であった。一方、病理所見や血管内視鏡を用いたバルーン血管形成術後の血管壁損傷と壁在血栓の頻度は、おのおの60<sup>6)</sup>-98%<sup>30)</sup>(中膜損傷48%<sup>31)</sup>、63<sup>31)</sup>-85%<sup>6)</sup>で

あった。血管壁損傷の発生率に関しては両形成術とも同程度の頻度であるが、血栓の頻度に関してはレーザー血管形成術のほうが低かった。しかしこれは、レーザーとバルーンの違いではなく、観察方法の違いに基づくものである。すなわち病理標本や血管内視鏡による血栓の診断は容易であるが、血管内超音波断層法では、新鮮血栓は血液、陳旧性血栓はアテロームや血管壁と同レベルのエコー輝度を呈することが多いため、これらとの判別が困難なことがあり<sup>5,32,33)</sup>、血栓の検出率が低かったものと考えられる。

バルーン血管形成術では術前の狭窄形態や血管壁性状と手術成績にある程度関係があり、偏心性狭窄<sup>34)</sup>や石灰化<sup>35)</sup>を有する病変の手術成功率は低く、また血管壁損傷や残存狭窄の程度が高度の場合、急性閉塞や再狭窄につながる傾向にある<sup>36-38)</sup>。そのため、最終的にバルーンによる血管拡張を追加することが多い現時点のレーザー血管形成術の成績は、レーザー照射後の開通孔の大きさや偏心性、血管壁損傷や石灰化の程度に影響を受けることが予想され、血管内超音波断層法を用いて、術中・術直後にこれらを正確に評価する意義は大きい。われわれの手術成績との関係でも、やはり、成功例に比べて不成功例では、開通孔の偏心性や残存狭窄が高度で、石灰化、血栓、血管壁損傷の程度が大きい傾向を示した。

血管内病変部の観察方法には血管内超音波断層法以外にもさまざまなものがあり、これまで病理所見や血管造影法、血管内視鏡等によって血管形成術後の評価が行われてきた。病理所見は血管内腔、アテロームや血管壁の組織形態の変化と性状を確実に評価することができ、血管形成術のメカニズムや術後の再狭窄の過程を解明するのに最も適しているが<sup>39-45)</sup>、実験動物や剖検例での観察であり、術後早期あるいは直後の臨床例の評価は困難である。血管造影法は現在、術後の評価法として最もよく用いられているが、edge detection法であるために、血管内病変の検出や正確な診断において限界があり<sup>3-5)</sup>、今回、血管内超音波断層法と比較して偏心性狭窄と石灰化、血管壁損傷に関して過少評価傾向を示した。とくに血管壁損傷に関して、形態別では亀裂、深度別では内膜損傷の検出率が低く、血管造影法による術後評価の限界を再確認した。また造影上、hazinessを示す部位は、split and dissectionと同様に血管内超音波断層法ではすべて亀裂や解離を呈する部

位であり、血管造影による分類に関して再検討が必要と考えられた。

狭窄率の定量的評価においては、血管造影法は偏心性狭窄部位の断面積の計測が困難であり、血管内超音波断層法を用いて血管断面から計測した狭窄率との間に有意な相関関係を認めなかった。

一方、血管内視鏡は血管内超音波断層法と異なり、血管内腔の表面を直接観察でき、血栓やアテロームの検出とそれらの鑑別が容易で、しかも組織性状の評価もある程度可能であることから、血管形成術後の評価に極めて有用である<sup>5-7)</sup>。とくに血栓の検出に関しては、血管内視鏡は現在、最も感度が高い。しかしアテロームや血管壁内の構造の評価は不可能で、また観察には頻回のフラッシングを必要とし手技は煩雑であ

る。

これに対して血管内超音波断層法は、現在まだ血栓の検出や組織性状の診断に関して、一定の限界を有しているが、狭窄形態の評価、石灰化の診断、血管壁損傷の形態と深達度の評価に優れ、さらに残存狭窄の定量的評価も可能であることから、今後、さまざまな血管形成術前後の新しい評価法として有用と考えられる。

## 結 論

血管内超音波断層法は血管造影法に比較して残存狭窄の定量的評価、狭窄形態、石灰化や血管壁損傷の診断に優れており、レーザー血管形成術後の血管内病変の評価に有用であった。

## 要 約

レーザー血管形成術に対する血管内超音波断層法の有用性を検討するために、閉塞性動脈硬化症例において術中・術直後の血管内病変を評価し、従来の血管造影法による評価と比較した。対象は下肢動脈完全閉塞例 13 例の 16 肢、17 病変で 30 MHz, 5F の血管内超音波カテーテルを用いて血管内腔と壁、アテロームを観察した。

1. 術中あるいは術直後、血管内超音波断層法により、71% に偏心性狭窄、65% に石灰化、12% に壁在血栓、76% に壁損傷を認めた。また、平均の残存狭窄率は  $47 \pm 20\%$  であった。

2. 手術成績との関係では、不成功部位 (4 病変) の残存狭窄率 ( $89 \pm 3\%$ ) と解離の発生率 (100%) は成功部位 (13 病変) のそれら ( $44 \pm 13\%$ , 38%) に比較して有意 ( $p < 0.05$ ) に高く、また、偏心性狭窄と石灰化は不成功部位に多い傾向を示した。

3. 血管造影法との比較では、血管内超音波断層法による偏心性狭窄 (71%) と石灰化 (65%)、血管壁損傷の検出率 (76%) は血管造影法によるそれら (29, 29, 47%) に比較して高い傾向を示した。しかし、残存狭窄率は両法で差を認めず、また、有意な相関関係も得られなかった。

4. 血管壁損傷の形態、深度別の検討では、血管造影法による損傷の検出率は亀裂を示した部位 (1/4 病変, 25%) と内膜損傷部位 (0/7 病変, 0%) で低く、中膜損傷部位 (5/6 病変, 83%) で高い傾向を示した。

以上の結果から、血管内超音波断層法は狭窄形態の評価、石灰化の診断、血管壁損傷の検出とその形態や深達度の判定、残存狭窄の定量的評価に優れており、レーザー血管形成術中・術後の血管内病変の新しい評価法として有用と考えられた。

*J Cardiol* 1994; 24: 211-220

## 文 献

- 1) Sanborn TA, Haudenschild CC, Garber RG, Ryan TJ, Faxon DP: Angiographic and histologic consequences of laser thermal angioplasty: Comparison with balloon angioplasty. *Circulation* 1987; 75: 1281-1286
- 2) Sanborn TA, Faxon DP, Haudenschild C, Gottsman SB, Ryan TJ: The mechanism of transluminal angioplasty: Evidence for formation of aneurysm in experimental atherosclerosis. *Circulation* 1983; 68: 1136-1140
- 3) Forrester JS, Litvack F, Grundfest W, Hickey A: A perspective of coronary disease seen through the arteries of living man. *Circulation* 1987; 75: 505-513
- 4) Siegel RJ, Swan K, Edwards G, Fishbein MC: Limitation of post-mortem assessment of human coronary artery size and luminal narrowing: Differential effects of tissue fixation and processing



- on vessels with different degrees of atherosclerosis. *J Am Coll Cardiol* 1985; **5** : 342-346
- 5) Siegel RJ, Chae JS, Forreter JS, Ruiz CE : Angiography, angioscopy, and ultrasound imaging before and after percutaneous balloon angioplasty. *Am Heart J* 1990; **120** : 1086-1090
  - 6) Yanagida S, Mizuno K, Miyamoto A, Sakurada M, Akanuma M, Shibuya T, Satomura K, Isojima K, Okamoto Y, Arai T, Nakamura H : Comparison of findings between coronary angiography and angioscopy. *Circulation* 1980; **80** (Suppl II) : II-376 (abstr)
  - 7) White GH, White RA, Kopckok GE, Klein SR, Wilson SE : Intraoperative video angioscopy compared with arteriography during peripheral vascular operations. *J Vasc Surg* 1987; **6** : 488-495
  - 8) Siegel RJ, Ariani M, Fishbein MC, Chae JS, Park JC, Maurer G, Forreter JS : Histopathologic validation of angioscopy and intravascular ultrasound. *Circulation* 1991; **84** : 109-117
  - 9) Pandian NG, Kreis A, Brockway B, Isner JM, Sacharoff A, Boleza E, Caro R, Muller D : Ultrasound angioscopy: Real-time, two-dimensional, intraluminal ultrasound imaging of blood vessels. *Am J Cardiol* 1988; **62** : 493-494
  - 10) Bom N, ten Hoff H, Lancee CT, Gussenhoven WJ, Bosch JG : Early and recent intraluminal ultrasound devices. *Int J Card Imaging* 1989; **4** : 79-88
  - 11) Rosch J, Rahimtoola SH : Progression of angiographically determined coronary stenosis. *in Coronary Bypass Surgery* (ed by Rahimtoola OSH), Davis, Philadelphia, 1977, p55
  - 12) Holmes Jr DR, Vlietstra RE, Mock MB, Reeder GY, Smith HC, Bove AA, Bresnahan JF, Piehler JM, Schaff HV, Orszulak TA : Angiographic changes produced by percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am J Cardiol* 1983; **51** : 676-683
  - 13) Cieszynski T : Intracardiac method of ultrasonic heart-structure investigation. *Arch Immun I Ter Dos* 1960; **8** : 551-557
  - 14) 尾本良三, 渥美和彦, 堀原一, 須磨幸蔵, 豊田忠之, 桜井端之, 室井竜夫, 藤森義蔵, 長谷川嗣夫, 常本実, 杉浦光雄, 三枝正裕, 内山明彦, 内田六郎, 長崎和美 : Ultrasonic intravenous sonde: The 1st report. *医用電子と生体工学* 1963; **1** : 90 (abstr)
  - 15) Omoto R, Atsumi K, Suma K, Toyoda T, Sakurai Y, Muroi T, Fujimori Y, Idezuki Y, Tsunemoto M, Sugiura M, Saigusa M, Nagasaki A, Uchida R, Uchiyama K : Ultrasonic intravenous sonde : The 2nd report. *Jpn Med Ultrasonics* 1963; **1** : 11 (abstr)
  - 16) Omoto R, Atsumi K, Suma K, Muroi T, Tsunemoto M, Sugiura M, Saigusa M, Nagasaki K : Ultrasonic intravenous sonde : The 3rd report. *Jpn Med Ultrasonics* 1964; **2** : 57-59
  - 17) Omoto R, Atsumi K, Suma K, Muroi T, Hirose M, Tsunemoto M, Sugiura M, Saigusa M, Uchida R, Nagasaki K : Ultrasonic intravenous sonde : The 4th report. *Jpn Med Ultrasonics* 1964; **2** : 34 (abstr)
  - 18) Omoto R, Suma K, Muroi T, Hirose M, Tsunemoto M, Furuta A, Sugiura M, Saigusa M, Atsumi K, Uchida R, Aoki T : Ultrasonic intravenous sonde : The 5th report. *Jpn Med Ultrasonics* 1965; **3** : 14 (abstr)
  - 19) Omoto R, Muroi T, Hirose M, Furuta A, Tsunemoto M, Hori M, Sugiura M, Saigusa M : Ultrasonic intravenous sonde : The 6th report. *Jpn Med Ultrasonics* 1965; **3** : 58 (abstr)
  - 20) 尾本良三, 常本実, 広瀬益雄, 室井竜夫, 堀原一, 三枝正裕 : 心内走査と超小型振動子. *Jpn Med Ultrasonics* 1966; **4** : 20 (abstr)
  - 21) Omoto R : Intracardiac scanning of the heart with the aid of ultrasonic intravenous probe. *Jpn Heart J* 1967; **8** : 569-581
  - 22) Omoto R : Ultrasonic tomography of the heart : An intracardiac scan method. *Ultrasonics* 1967; **5** : 80-83
  - 23) Tobis JM, Mallery JA, Gessert J, Griffith J, Mahon D, Bessen M, Moriuchi M, McLeay L, McRae M, Henry WL : Intravascular ultrasound cross-sectional arterial imaging before and after balloon angioplasty in vitro. *Circulation* 1989; **80** : 873-882
  - 24) Pandian NG, Kreis A, Brockway B, Sacharoff A, Caro R : Intravascular high frequency two-dimensional ultrasound detection of arterial dissection and intimal flaps. *Am J Cardiol* 1990; **65** : 1278-1280
  - 25) Ginsburg R, Kim DS, Guthaner D, Toth J, Mitchell RS : Salvage of an ischemic limb by laser angioplasty : Description of a new technique. *Clin Cardiol* 1984; **7** : 54-58
  - 26) Choy DSJ, Stertzer S, Rotterdam HZ, Sharrock N, Kaminow IP : Transluminal laser catheter angioplasty. *Am J Cardiol* 1982; **50** : 1206-1208
  - 27) Sanborn TA : Laser angioplasty : What has been learned from experimental studies and clinical trials? *Circulation* 1988; **78** : 769-774
  - 28) Foschi AE, Myers GE, Flamm MD, Jacobs WC : Laser-enhanced coronary angioplasty : Combined early results of direct argon laser exposures in atherosclerotic native arteries and bypass grafts. *J Am Coll Cardiol* 1990; **15** : 56A (abstr)
  - 29) 吉田正人, 岡田昌義, 辻義彦, 中村和夫 : Argon レーザーを用いた transluminal laser angioplasty に関する実験的検討. *日外会誌* 1991; **92** : 1016-1026
  - 30) Potkin BN, Roberts WC : Effects of percutaneous transluminal coronary angioplasty on atherosclerotic plaque and relation of plaque composition and arterial size to outcome. *Am J Cardiol* 1988; **62** : 41-50
  - 31) Farb A, Virmani R, Atkinson JB, Kolodgie FD : Plaque morphology and pathologic changes in arteries from patients dying after coronary balloon angioplasty. *J Am Coll Cardiol* 1990; **16** : 1421-1429
  - 32) Pandian NG, Kreis A, Brockway B : Detection of intraarterial thrombus by intravascular high frequency two-dimensional ultrasound imaging in vitro and in vivo studies. *Am J Cardiol* 1990; **65** : 1280-1283
  - 33) Picano E, Landini L, Distante A, Benassi A, Sarnelli R, L'Abbate A : Fibrosis, lipids and calcium in human atherosclerotic plaque : In vitro differentiation from normal aortic walls by ultrasonic attenuation. *Circ Res* 1985; **56** : 556-562
  - 34) Meire B, Gruentzig AR, Hollman J, Ischinger T, Bradford JM : Does length or eccentricity of coronary stenosis influence the outcome of transluminal dilatation? *Circulation* 1983; **67** : 497-499
  - 35) Faxon DP, Kelsey SF, Ryan TJ, McCabe CH, Detre

- K : Determinants of successful percutaneous transluminal coronary angioplasty : Report from the National Heart, Lung and Blood Institute Registry. *Am Heart J* 1984; **108** : 1019-1023
- 36) Ellis SG, Roubin GS, King III SB, Douglas JS, Weintraub WS, Thomas RG, Cox WR : Angiographic and clinical predictors of acute closure after native vessel coronary angioplasty. *Circulation* 1988; **77** : 372-379
- 37) Black AJR, Namay DL, Niederman AL, Lembo NJ, Roubin GS, Douglas Jr JS, King III SB : Tear or dissection after coronary angioplasty : Morphologic correlates of an ischemic complication. *Circulation* 1989; **79** : 1035-1042
- 38) Schwartz RS, Huber KC, Murphy JG, Edwards WD, Camrud AR, Vlietstra RE, Holmes DR : Restenosis and the proportional neointimal response to coronary artery injury: Results in a porcine. *J Am Coll Cardiol* 1992; **19** : 267-274
- 39) Baughman KL, Pasternak RC, Fallon JT, Block PC : Transluminal coronary angioplasty of postmortem human hearts. *Am J Cardiol* 1981; **48** : 1044-1047
- 40) Hill JA, Margolis JR, Feldman RL, Conti RC, Repine CJ : Coronary arterial aneurysm formation after balloon angioplasty. *Am J Cardiol* 1983; **52** : 261-264
- 41) Block PC, Elmer D, Fallon JT : Release of atherosclerotic debris after transluminal angioplasty. *Circulation* 1982; **65** : 950-952
- 42) Waller BF, Gorfinkel HJ, Rogers JF, Kenneth KM, Robert WC : Early and late morphologic changes in major epicardial coronary arteries after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am J Cardiol* 1984; **53** : 42C-47C
- 43) Waller BF : The eccentric coronary atherosclerotic plaque : Morphologic observations and clinical relevance. *Clin Cardiol* 1989; **12** : 14-20
- 44) Mizuno K, Kurita A, Imazeki N : Pathological findings after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Br Heart J* 1984; **52** : 588-590
- 45) Steele PM, Chesebro JH, Stanson AW, Holmes Jr DR, Dewanjee MK, Badimon L, Fuster V : Balloon angioplasty: Natural history of the pathophysiological response to injury in a pig model. *Circulation Res* 1985; **57** : 105-112