

床例で血管内エコーを検討すると、側副血行動脈では血管内エコーで厚い内中膜層が観察された(図7、8)。血管内エコーで観察した内中膜壁厚は、主要大動脈肺動脈側副血行のない肺動脈狭窄例に比べ、有意に厚かった(図9)。主要大動脈肺動脈側副血行症例でバルーン拡大術の後に血管内エコーで肺動脈壁を観察すると、内中膜の断裂が発生していることがわかった(図10)。バルーン拡大術が有効であった症例と、有効でなかった症例で、内中膜の壁厚を比べると、有効例での壁厚が厚かった(図11)。このことは、有効なバルーン拡大のためには、内中膜の断裂が発生する必要があることを示唆する。

b) 肺動脈狭窄症例に対しバルーン拡大術を施行した例での内中膜の観察

まず、血管エコーを用いた肺動脈の壁厚測定について検討した。血管エコーで内中膜壁厚を測定すると、肺動脈狭窄のある血管では、狭窄が無い血管に比べて内中膜壁厚が増大していることがわかった(図12)。

次に、血管エコーを用いた肺動脈径の測定について検討した。血管エコーから測定した肺動脈径は、造影から測定した肺動脈径とよく一致した(図13)。血管エコーを用いると造影なしでも血管径や内中膜壁厚を測定できることがわかった。

バルーン拡大術後には15%に内膜剥離や瘤を認めず、85%に内膜剥離を認め、瘤を認めたのは67%であった(図14)。バルーン拡大術は34カ所中29カ所(85%)で成功した。

34カ所の中、造影上または血管エコーで内膜剥離を認めたのは29カ所であった。その29カ所の中、造影で内膜剥離を認めたのは44%にすぎなかったが、血管エコーでは100%に認められた(図15)。

34カ所の中、造影上または血管エコーで瘤を認めたのは28カ所であった。その28カ所の中、造影で内膜剥離を認めたのは61%にすぎなかったが、血管エコーでは93%に認められた(図16)。

34カ所の中、血管エコーで中膜断裂を認めたのは26カ所であった。

以上より、血管損傷の有無の診断上、血管造影に比較して血管エコーの方がより鋭敏であることがわかった。

c) 内膜剥離や瘤の中期予後

血管造影と血管内エコーを用いて、バルーン拡大術の際に形成された血管の断裂や瘤の長期予後について検討した。バルーン拡大術直後に認められた内膜剥離は、バルーン拡大術3.3±1.6年後の検査では、84%に認められなくなり、8%で内膜剥離は軽減し、8%では変化がなかった(図17)。バルーン拡大術直後に認められた瘤は、54%に認められなくなり、33%で瘤は小さくなり、13%では変化がなかった(図18)。以上の結果は、内膜剥離、瘤ともに約90%の率で消退ないし消失することを示す。肺動脈の血管壁の断裂や瘤は時間経過とともに消退ないし消失していく傾向があることがわかった(図19—23)。

また、バルーン拡大術直後に内膜剥離や瘤

の形成を認めなかった例では、フォローアップでこれらの所見が新たに出現することは無かった (図 24)。

d) 術後中期における再狭窄とバルーン拡大

術後中期における再狭窄とバルーン拡大術直後の内膜剥離や瘤形成との関係
肺動脈狭窄に対するバルーン拡大術直後にみられる肺動脈の断裂や瘤形成と、中期に於ける再狭窄との関係について検討した。肺動脈狭窄に対するバルーン拡大術直後の内膜剥離や瘤の有無は血管造影と血管内エコーを用いて判定した。再狭窄の有無はバルーン拡大術後 3.3 ± 1.6 年後に血管造影にて判定した (図 25)。バルーン拡大術直後に肺動脈の瘤形成を認めた症例では、14 例中 3 例 (21%) に再狭窄を認めた。バルーン拡大術直後に肺動脈の内膜剥離を認めた症例では、12 例中 1 例 (8%) に再狭窄を認めた。一方、肺動脈狭窄病変の再狭窄肺動脈の内膜剥離や瘤形成を認めなかった症例では、4 例中 3 例 (75%) に再狭窄を認めた (図 26)。再狭窄率はバルーン拡大術直後に肺動脈の断裂や瘤形成を認めた症例で有意に少なかった (図 27)。肺動脈狭窄病変の再狭窄肺動脈の内膜剥離、中膜断裂や瘤形成が存在すると再狭窄が起こりにくいことがわかった。

冠動脈では内膜や中膜の損傷が起こると内膜や中膜の増殖を誘発し再狭窄の原因になりうるということが知られている。肺動脈でも内膜や中膜の損傷が起こると内膜や中膜の増殖を誘発し再狭窄の原因になるかもしれない。その可能性を検討するために、フォ

ローアップ時の血管内エコーで、内中膜の厚さを測定した。バルーン直後に瘤を認めた群、内膜剥離のみを認めた群、瘤も内膜剥離も認めなかった群、の 3 群間で内中膜の厚さに有意差を認めなかった (図 28)。

このことは肺動脈に於いては内膜や中膜の損傷で、それら血管層の有意な肥厚を誘発しないことを示唆する。さらに、再狭窄を認めた群と認めなかった群で内中膜の厚さを比較すると、両者で有意な差は無かった。

これらのデータは、肺動脈の再狭窄は、内中膜の肥厚によることは少ないことを示唆する。しかし、その様な症例が全くないわけではなく、もともと全体的に低形成の肺動脈ではありうる。図 30 はバルーン拡大術 4 年後に内中膜肥厚のために再狭窄をきたした例を示す。今回の研究では内中膜の肥厚のために再狭窄をきたした例はこの 1 例のみであった。

D. 考察

肺動脈のバルーン拡大術の効果は肺動脈壁の断裂が発生することでもたらされる。今回の研究でもバルーン拡大術成功の 29 カ所の中、27 カ所に中膜断裂や内膜剥離が認められた。しかし断裂が深すぎると血管の亀裂、破裂につながり出血や瘤形成などの合併症の発生につながる。今回の研究でも中膜断裂を認めた病変の大部分で瘤の発生も認めた。理想的なバルーン拡大術の結果は、瘤の発生なしに中膜が断裂して血管径が拡大することであるが、ほとんどの例で中膜の全層で断裂が

起こるといえる。バルーン拡大術の前後で血管の断裂や瘤形成の有無を知ることは成功率を高めたり、合併症を減らしたりする上で重要である。今回の結果は、血管損傷の有無の診断上、血管造影に比較して血管エコーの方がより鋭敏であることを示唆した。

本研究では、血管造影と血管内エコーを用いて、バルーン拡大術の際に形成された血管の断裂や瘤の長期予後について検討した。肺動脈の血管壁の断裂や瘤は時間経過とともに消退ないし消失していく傾向があることがわかった。いままでにこのような報告はなされておらず、本研究が世界ではじめての報告である。

本研究では、肺動脈の内膜剥離や瘤形成と、肺動脈再狭窄との関係についても検討した。バルーン直後に瘤を認めた群、内膜剥離のみを認めた群、瘤も内膜剥離も認めなかった群、の3群間で内中膜の厚さに有意差を認めなかった。このことは肺動脈に於いては内膜や中膜の損傷で、それら血管層の有意な肥厚を誘発しないことを示唆する。逆に、肺動脈の断裂や瘤形成が存在すると再狭窄が起こりにくいことがわかった。この知見も世界ではじめての報告である。

E. 結論

内膜剥離や瘤形成の有無の診断上、血管造影に比較して血管内エコーの方がより鋭敏である。バルーン拡大術の成績向上のために血管内エコーは欠かすことができないものであるといえる。

図の説明

図1. バルーン拡大術の方法。バルーン拡大術後に血管内エコーを施行し、内膜剥離が認められないか、薄い内膜剥離のみ認められた場合には、バルーンサイズを増して再度バルーン拡大を施行した。

図2. 内膜剥離の定義。造影検査では血管腔に薄い膜様の陰影欠損が観察された場合を内膜剥離、血管エコーではエコー輝度のある薄い膜状の突出が観察された場合を内膜剥離とした。

図3. 瘤の定義。造影検査では、局所性に血管腔が拡大した場合、血管エコーでは局所性の血管腔拡大を瘤とした。また中膜の断裂が観察された場合を中膜断裂とした。

図4. 内中膜層の厚さの測定。左図：正常では内中膜層は殆ど層として認められなかった。右図：内中膜肥厚例。

図5. 主要大動脈肺動脈側副血行症例剖検例に於ける血管内エコー。組織学的には厚い内膜が観察された。血管エコーでは内膜と中膜は区別できなかった。

図6. 主要大動脈肺動脈側副血行症例剖検例に於ける血管内エコー。内中膜を一緒に測定し、内中膜壁厚とすると、剖検例での組織学的な内中膜の厚さと、血管内エコーでの内中膜の厚さとはよく一致した。

図 7. 主要大動脈肺動脈側副血行症例の臨床例での血管内エコー. 側副血行動脈および肺動脈への移行部では血管内エコーで厚い内中膜層が観察された.

図 8. 主要大動脈肺動脈側副血行症例の臨床例での血管内エコー. 側副血行動脈および肺動脈への移行部では血管内エコーで厚い内中膜層が観察された.

図 9. 主要大動脈肺動脈側副血行症例で肺動脈狭窄がある症例と、主要大動脈肺動脈側副血行のない肺動脈狭窄例での内中膜壁厚.

図 10. バルーン拡大術後の中膜断裂. 主要大動脈肺動脈側副血行症例. バルーン拡大術の後に血管内エコーで内中膜の断裂を認めた.

図 11. 内中膜層の厚さ. 主要大動脈肺動脈側副血行症例. バルーン拡大術成功例での壁厚が、不成功例に比べ厚かった.

図 12. 内中膜の厚さ. 肺動脈狭窄のある血管では、狭窄が無い血管に比べて内中膜壁厚が増大していた.

図 13. 血管エコーを用いた肺動脈径の測定. 血管エコーから測定した肺動脈径は、造影から測定した肺動脈径とよく一致した.

図 14. バルーン拡大術後の血管壁. バルーン拡大術後には 15% に内膜剥離や瘤を認め

ず、85% に内膜剥離を認めた.

図 15. 内膜剥離の診断精度. 29カ所中、造影で内膜剥離を認めたのは 44%、血管エコーでは 100% に認めた.

図 16. 瘤の診断精度. 34カ所中、造影で内膜剥離を認めたのは 61% にすぎなかったが、血管エコーでは 93% に認めた.

図 17. 内膜剥離の運命. バルーン拡大術直後に認められた内膜剥離は、バルーン拡大術 3年後の検査では、92% に認められなくなるか軽減した.

図 18. 瘤の運命. バルーン拡大術直後に認められた瘤は、87% に認められなくなるか小さくなった.

図 19. 5歳、ファロー四徴症症例. バルーン拡大術直後に左肺動脈に瘤を認めたが、2年後の造影では瘤は消失し、血管内エコーでも瘤は認めなかった.

図 20. 1.9歳、大血管転換症術後の症例. 左右肺動脈分枝部の狭窄に対しバルーン拡大術施行. 施行直後に瘤を認めた.

図 21. 1.9歳、大血管転換症術後の症例 (図 20 と同一症例). 左右肺動脈分枝部の狭窄に対しバルーン拡大術施行. 施行直後に瘤を認めたが、5年後には瘤は軽減し、血管内エコーでも瘤を認めなかった.

図22. 0.7歳、大血管転換症術後の症例。左肺動脈分枝部の狭窄に対しバルーン拡大術施行。施行直後に瘤を認めた。

図23. 図22と同一症例。大血管転換症術後。左肺動脈分枝部の狭窄に対しバルーン拡大術施行直後に瘤を認めたが、5年後には瘤を認めなかった。

図24. バルーン拡大術直後に内膜剥離や瘤の形成を認めなかった例。バルーン拡大術直後に内膜剥離や瘤の形成を認めなかった例では、フォローアップでこれらの所見が新たに出現することは無かった。

図25. 再狭窄。再狭窄をバルーン拡大術成功例30例中、7例(23%)に認めた。

図26. 瘤、内膜剥離と再狭窄。バルーン拡大術直後に肺動脈の瘤形成を認めた症例では、14例中3例(21%)、内膜剥離を認めた12例中1例(8%)、内膜剥離や瘤形成を認めなかった4例中3例(75%)に再狭窄を認めた。

図27. 瘤、内膜剥離と再狭窄。再狭窄率はバルーン拡大術直後に肺動脈の断裂や瘤形成を認めた症例で有意に少なかった。

図28. 内中膜の損傷と内中膜の増殖。バルーン直後に瘤を認めた群、内膜剥離のみを認めた群、瘤も内膜剥離も認めなかった

群、の3群間で、フォローアップ時の血管内エコーで内中膜の厚さに有意差を認めなかった。

図29. 再狭窄と内中膜壁厚。再狭窄を認めた群と認めなかった群で内中膜の厚さに有意差は無かった。

図30. 1歳、ファロー四徴症。左肺動脈狭窄。バルーン拡大術4年後に内中膜肥厚のために再狭窄をきたした例。

图 1

Balloon angioplasty (BA)



IVUS (± angio)



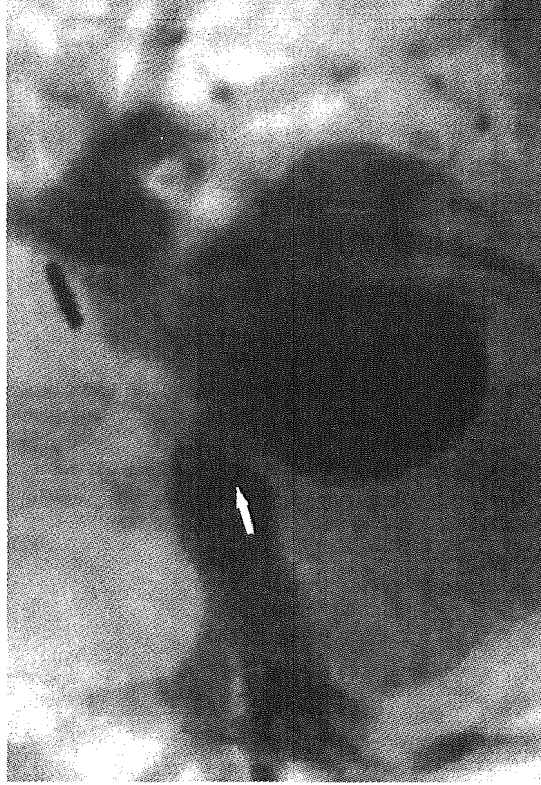
- **No intimal flaps**
- **Thin flaps without increase in diameter**



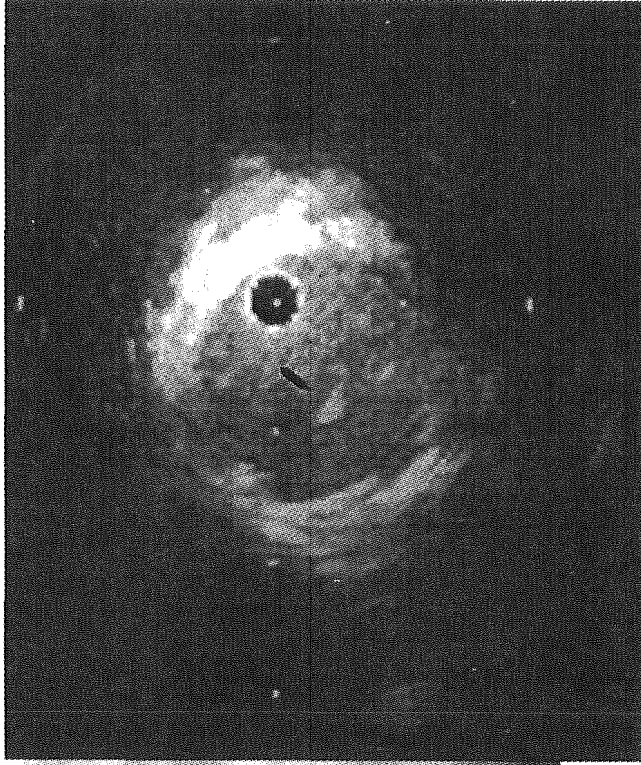
Repeat BA

图 2

Definition: Intimal flap



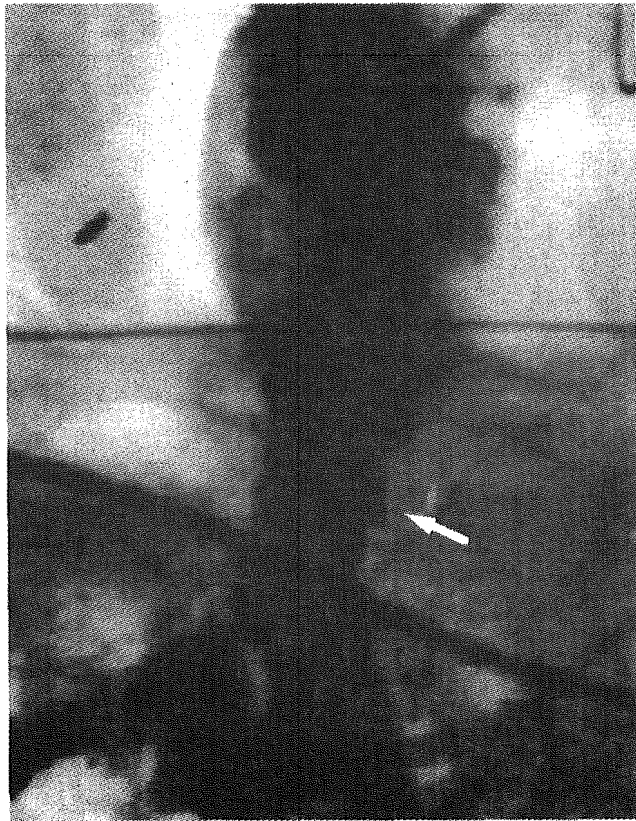
Cine



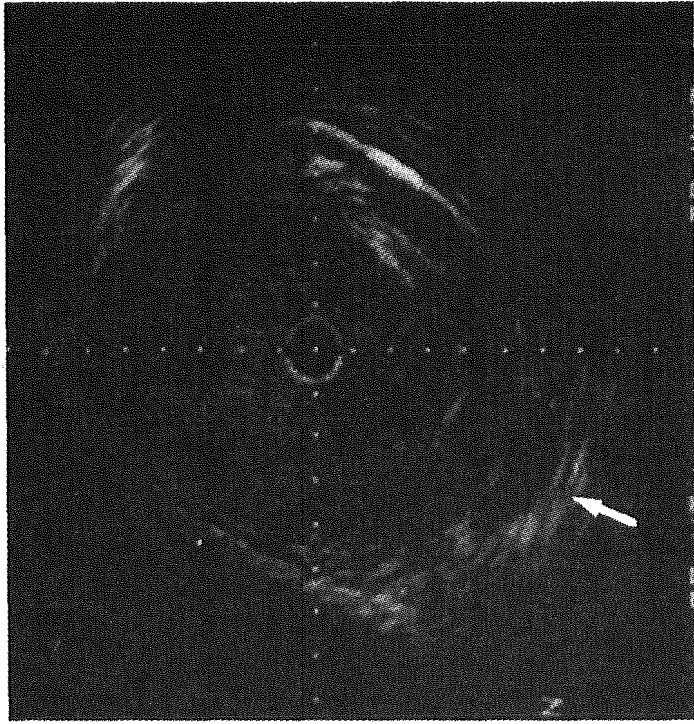
IVUS

图 3

Definition: Aneurysm



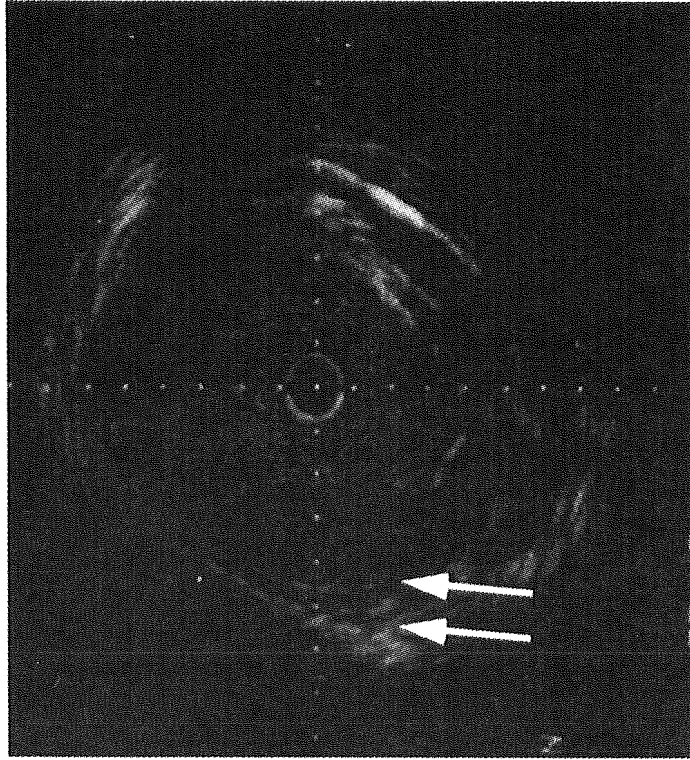
Cine



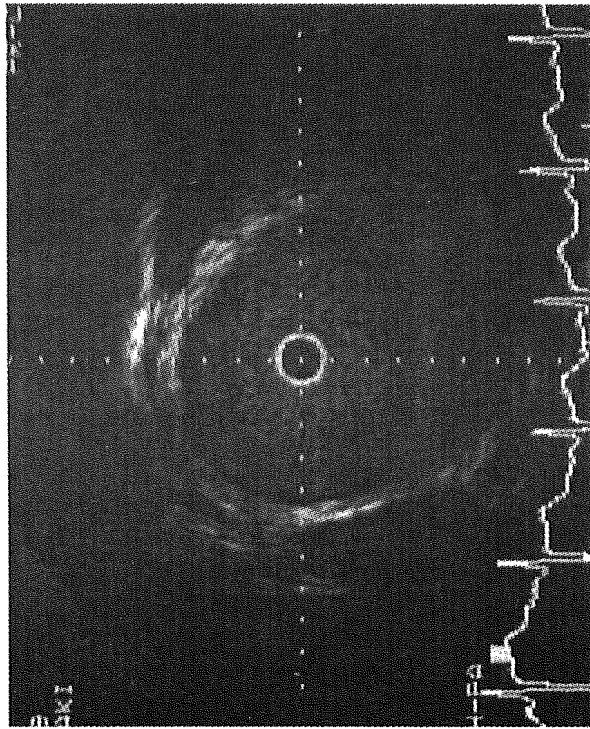
IVUS

图 4

Intima-medial thickness



1.2 mm



0 mm

图 5

MAPCA - PA junction

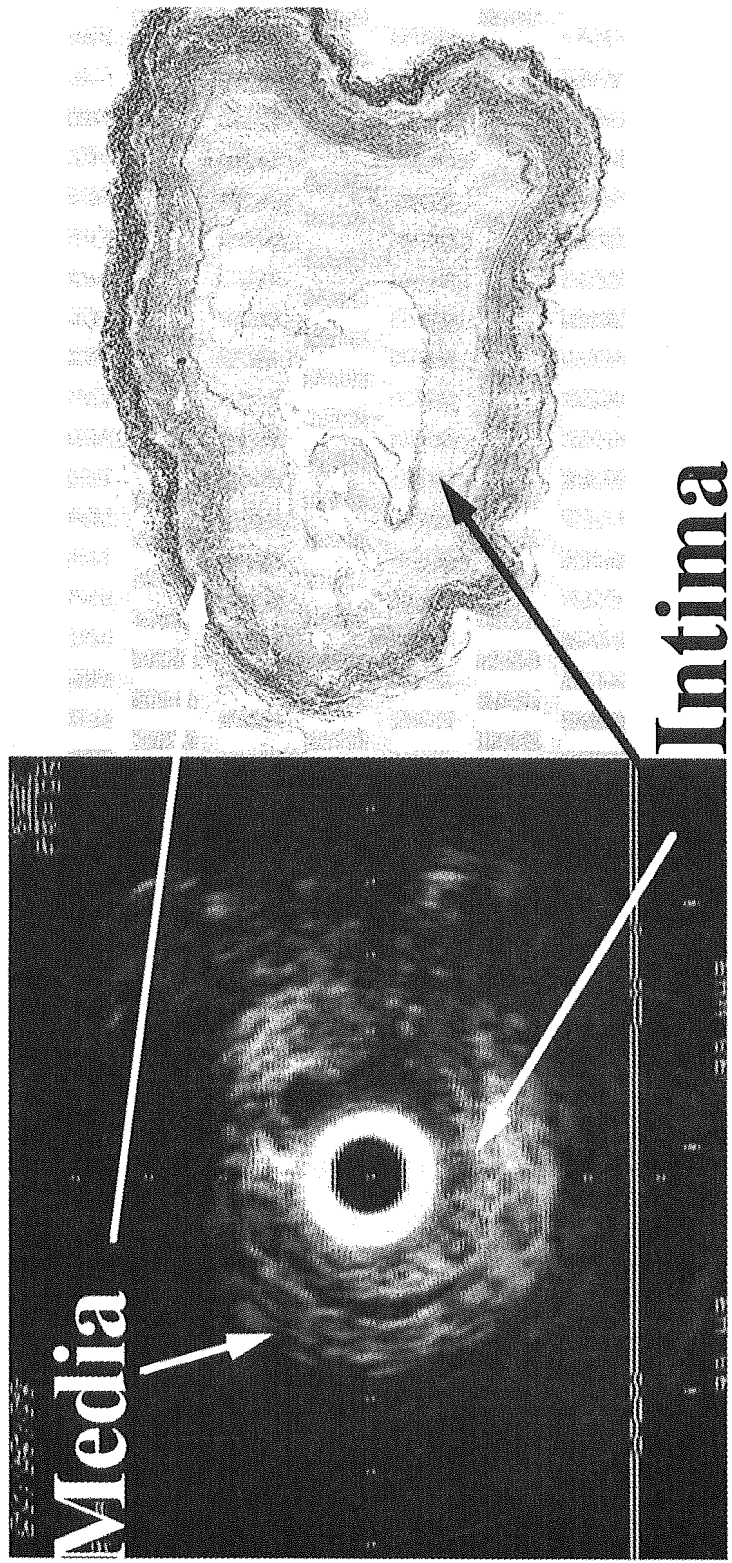
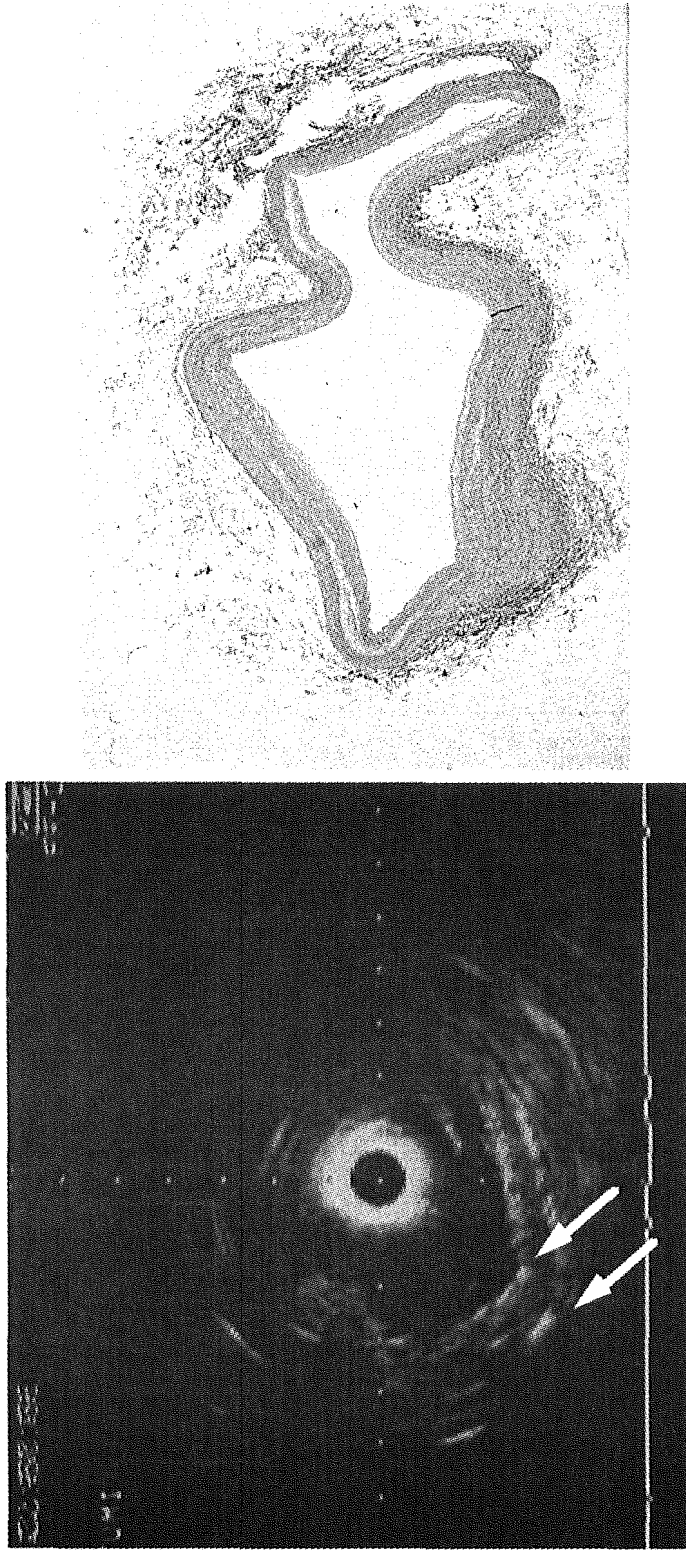


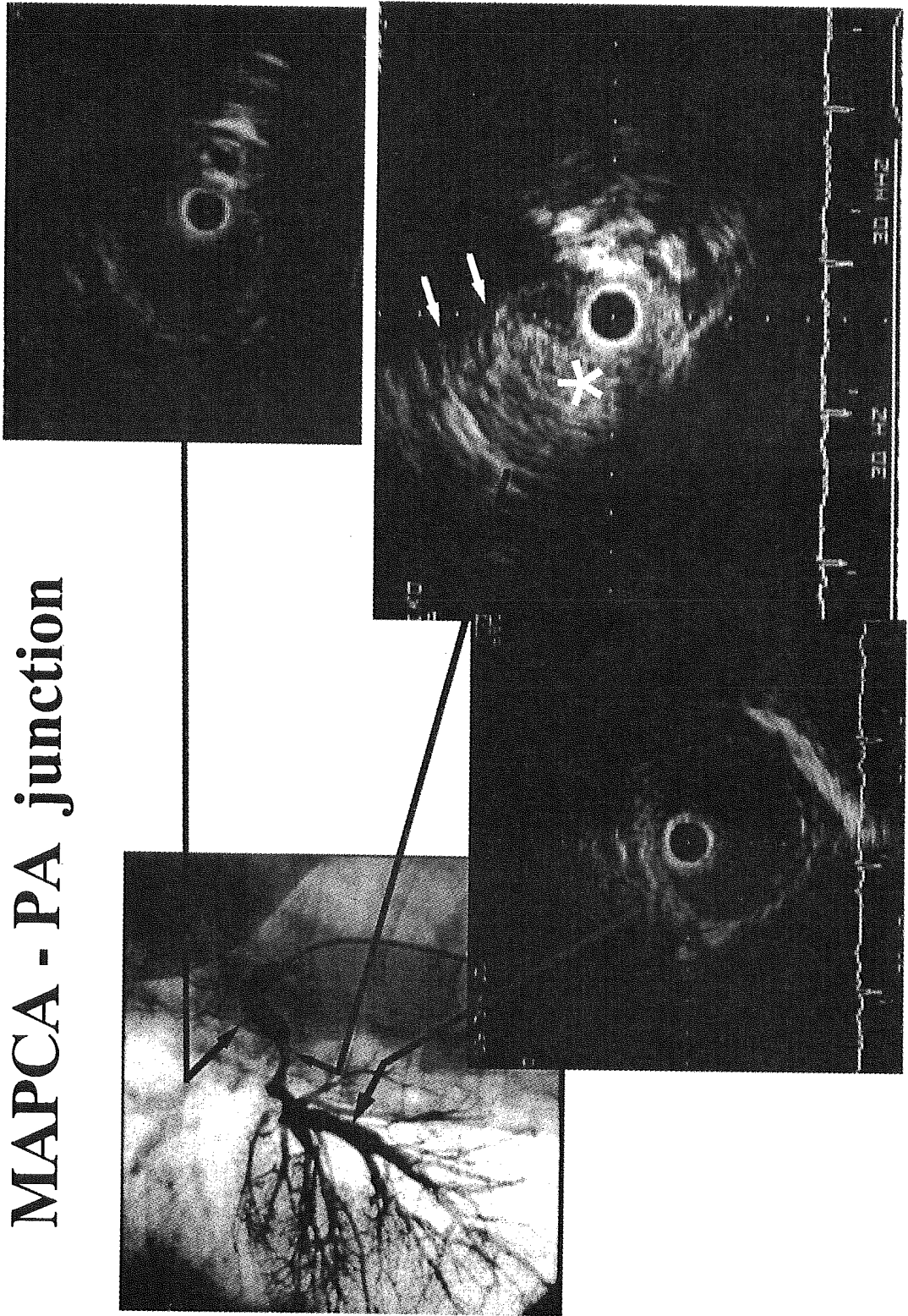
图 6

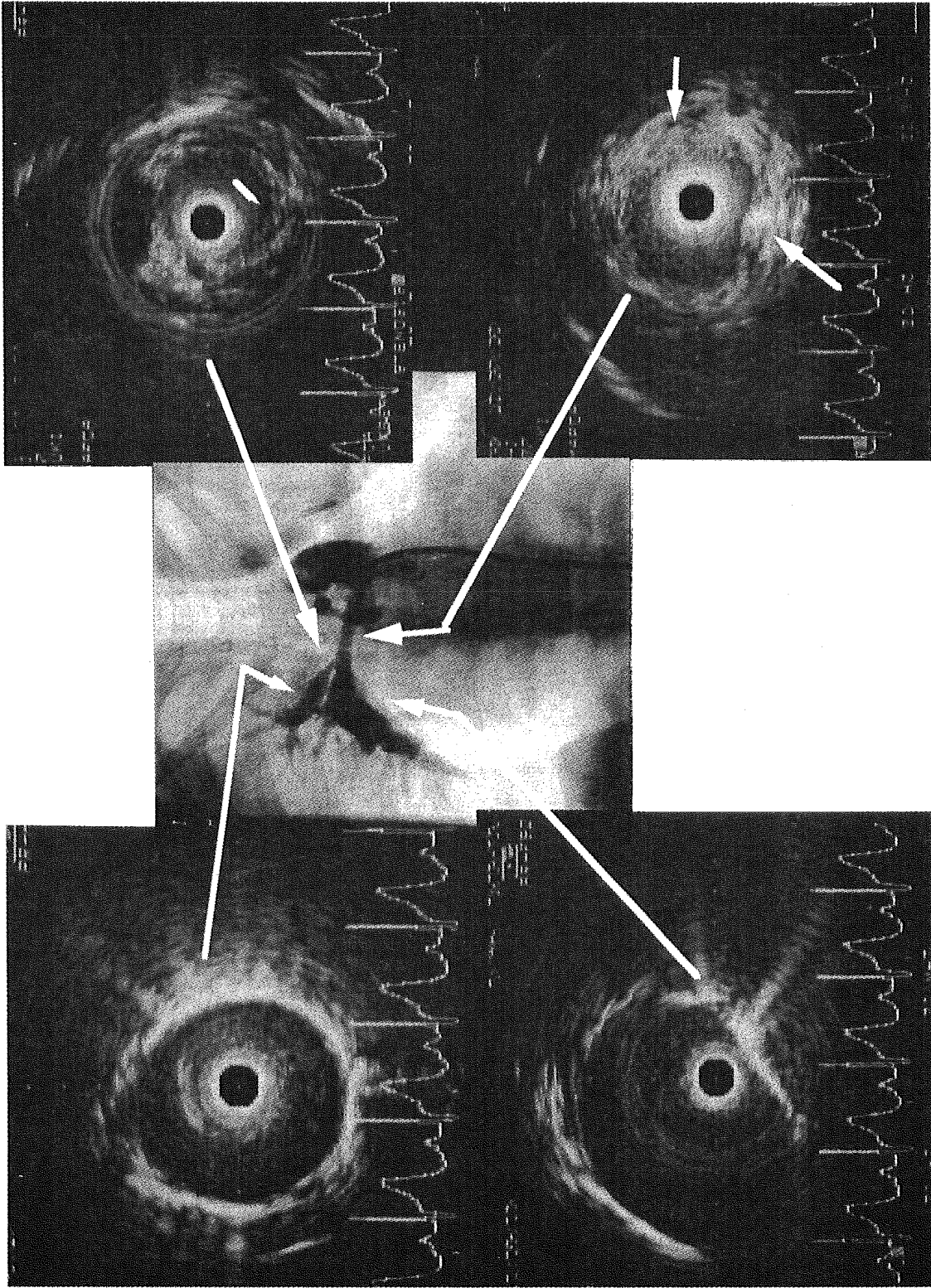
Intravascular ultrasound in the pulmonary artery in patients with MAPCA



7

MAPCA - PA junction





8
☒

図 9

**Medial thickness of PA
at stenosis site (IVUS)**

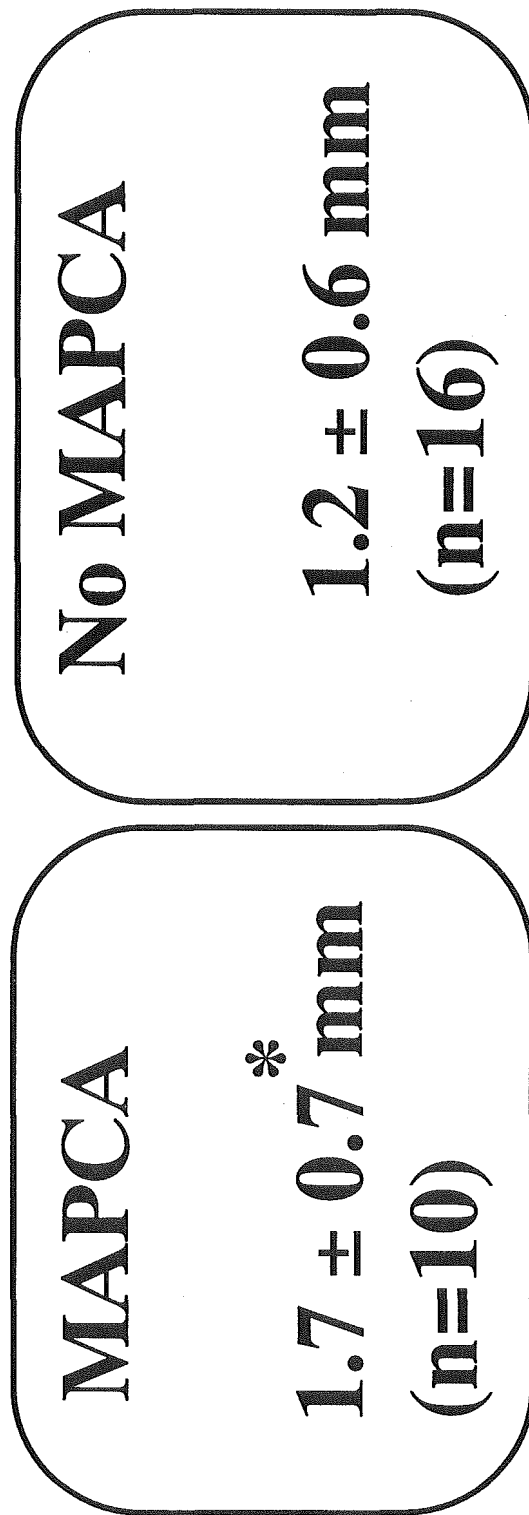


图 10

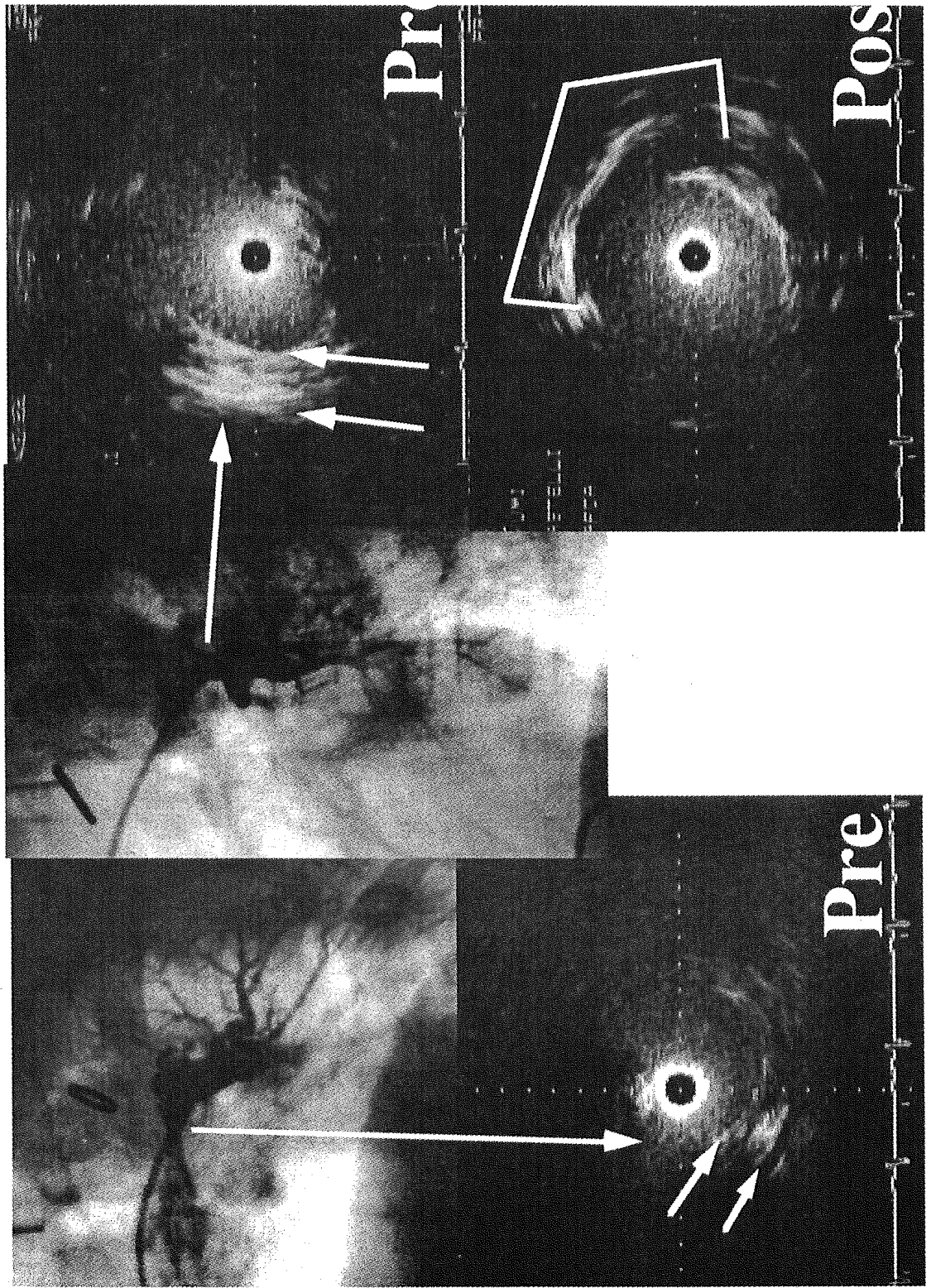


图 11

Successful dilation and intima-media thickness

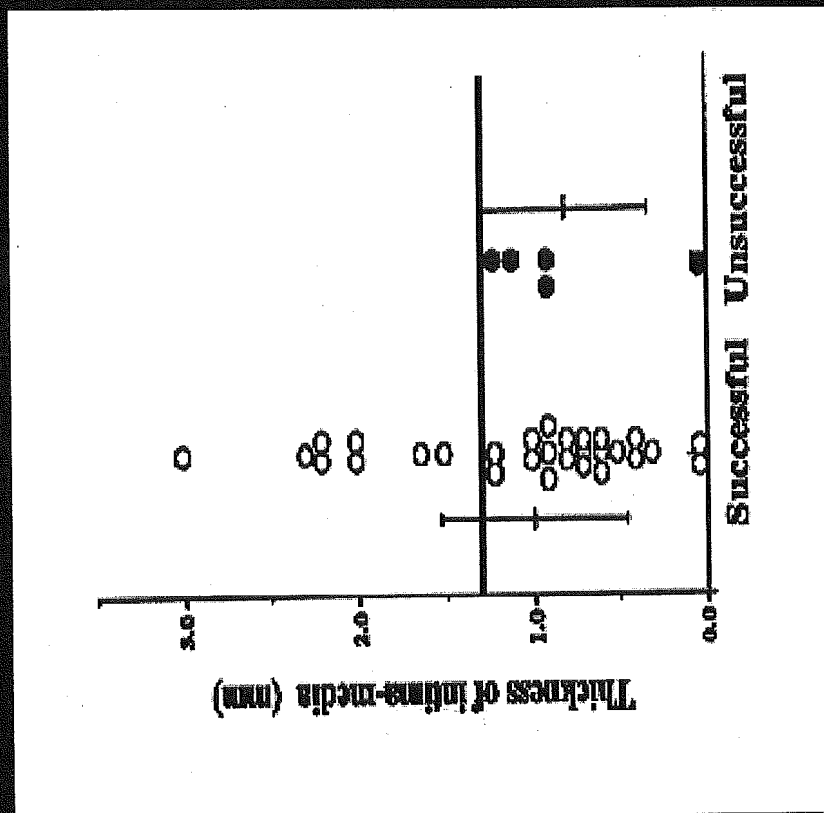


图 12

Thickness of intima-media

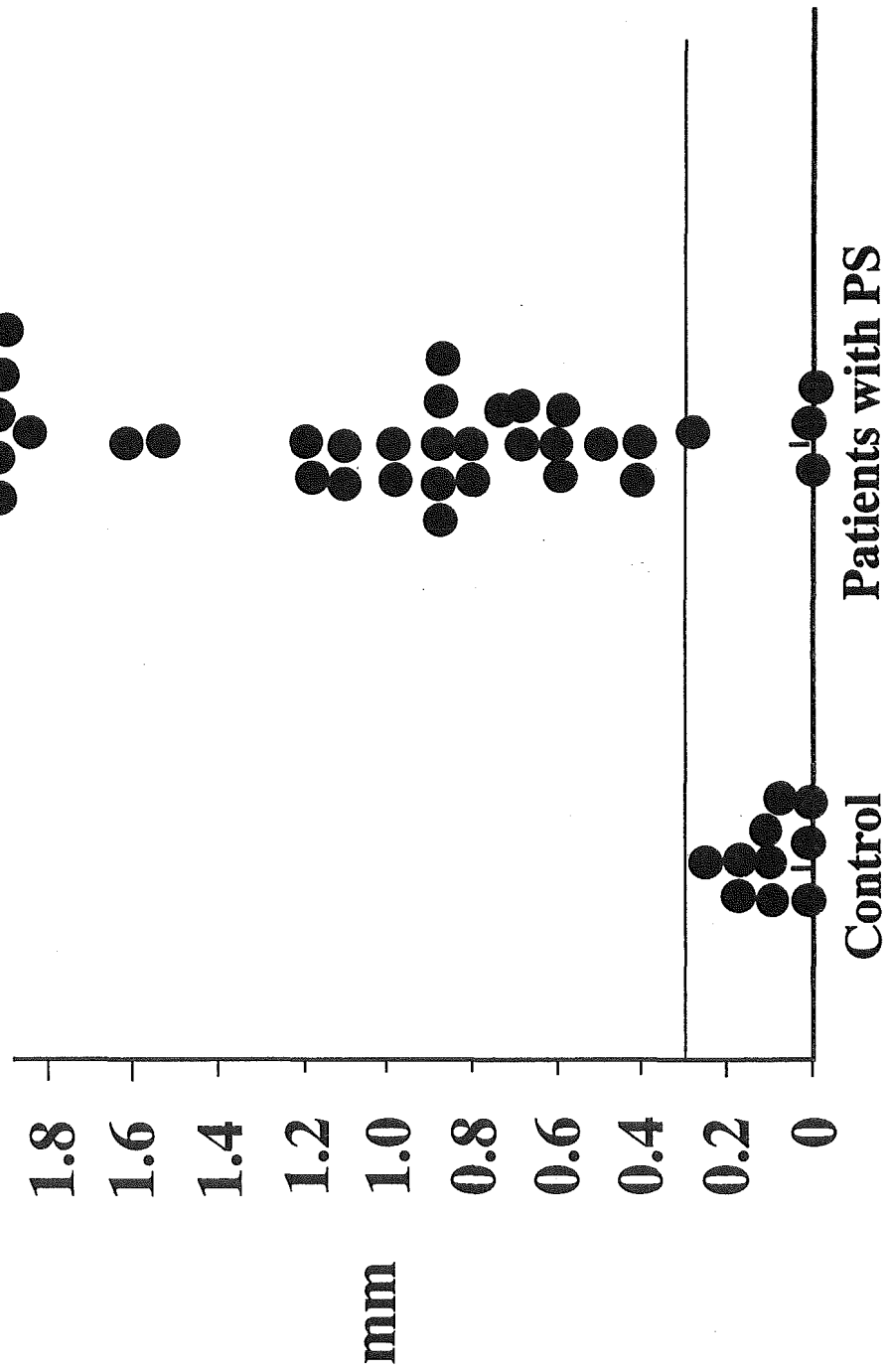


图 13

Vessel Diameter

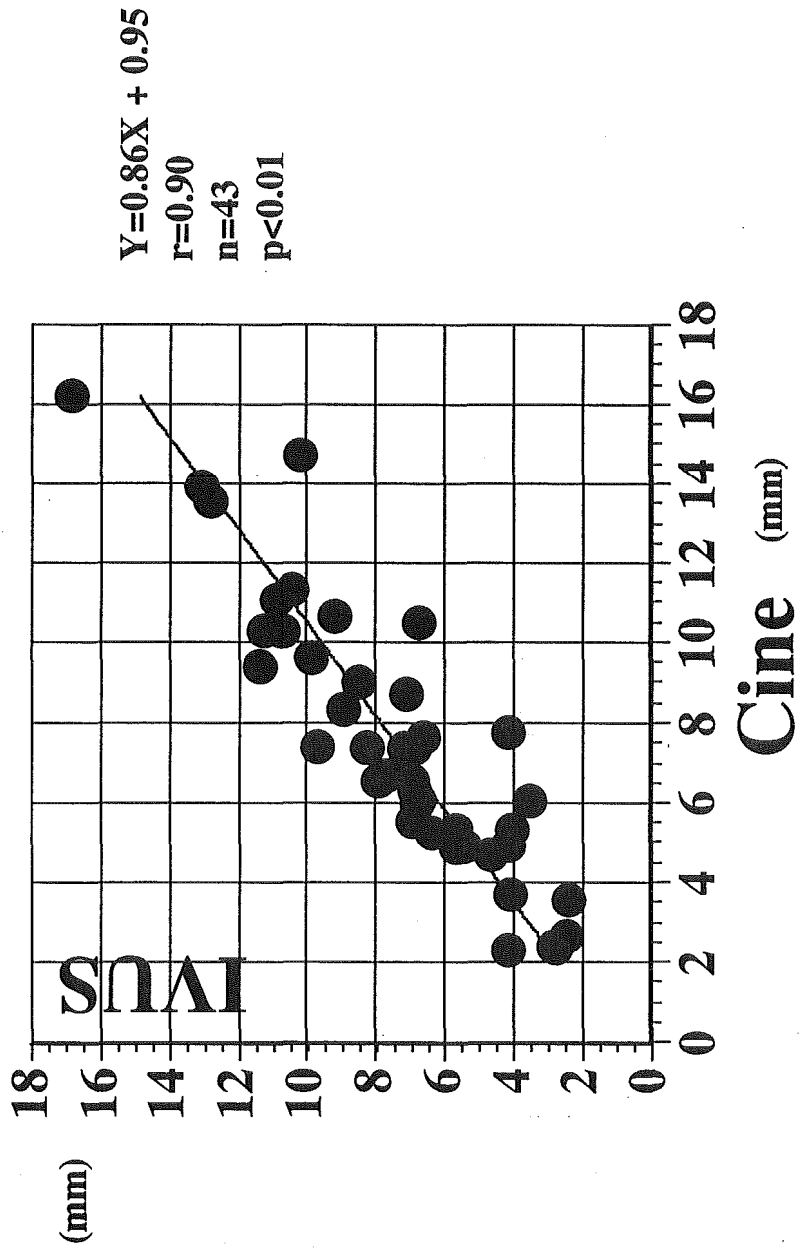


图 14

IVUS after balloon angioplasty

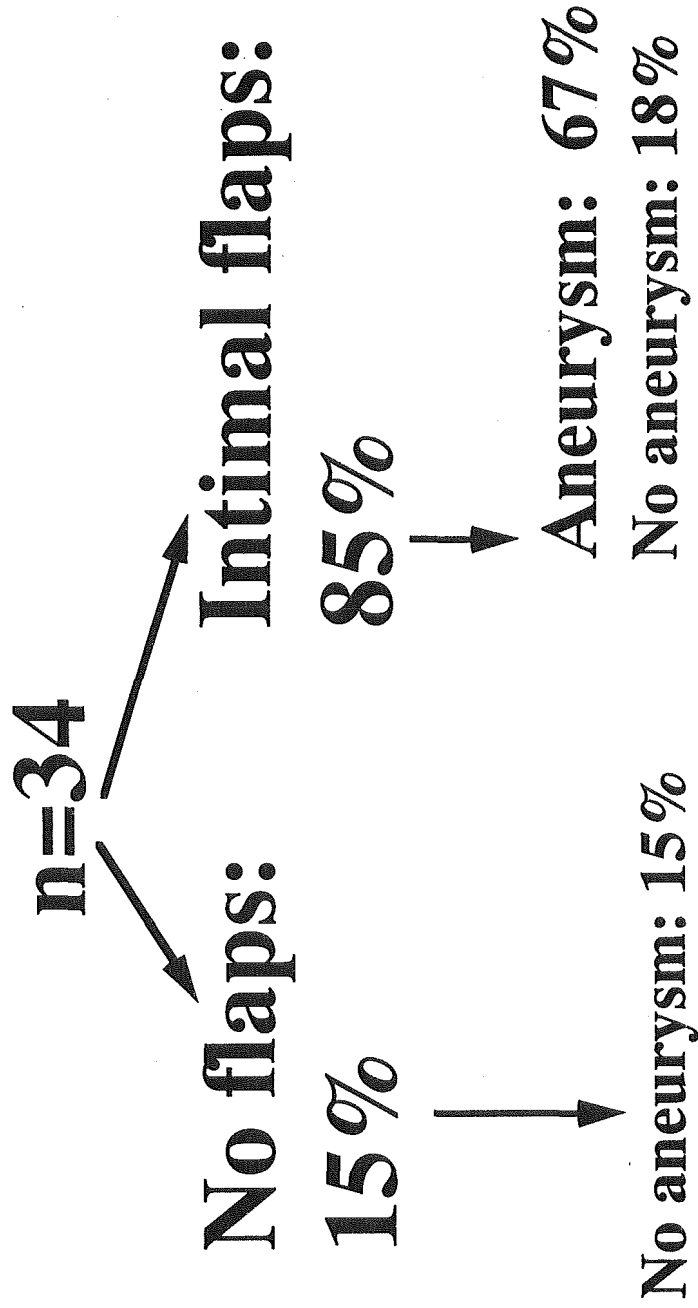


图 15

Detection of intimal flaps

