

肺動脈での血管内エコー実施におけるロングシースの使用

(平成11年2月15日受付)

(平成11年5月10日受理)

東京女子医科大学付属日本心臓血圧研究所循環器小児科

豊野 学朋 中西 敏雄 近藤 千里

富松 宏文 門間 和夫

key words : 血管内エコー (IVUS), ロングシース, 肺動脈, バルーン拡大術

要 旨

肺動脈に留置したロングシースを用いて、肺動脈の血管内エコー (IVUS) を撮像する工夫を行った。ロングシースの中に IVUS カテーテルを置いて撮像する場合、シースによるエコー輝度の減衰がある。テフロン、ポリエチレン、ポリウレタン、ナイロンのシースに IVUS カテーテルを入れ、デイスポーザブル注射器の外筒を対象として、エコー輝度の測定を行った。テフロン、ポリエチレン、ポリウレタン、ナイロンの間で、エコー輝度の減衰を比較すると、減衰の度合いはテフロン < ポリエチレン = ポリウレタン < ナイロンで、テフロンが最も減衰が少なかった。また 5 F、6 F、7 F のシースを比べると、シース径が小さいほど減衰は少なかった。加工のしやすさからポリエチレンを選択し、ポリエチレン製 5 F ロングシースを作製した。そのロングシースを用いて 4 例の患者肺動脈に於いて IVUS 撮像を施行した。ロングシースを使用して得た肺動脈のエコー輝度は、ロングシースを使用しないで得た肺動脈のエコー輝度の 74% であった。ただし、それでも患者肺動脈壁の観察は十分に可能であり、また患者肺動脈におけるロングシースを使用した際のシグナル/ノイズ比はコントロールの値と同程度であった。ロングシースの使用により迅速に IVUS カテーテルを肺動脈に進めることができた。

はじめに

末梢血管の狭窄の性状やバルーン拡大術の効果を検討する際に血管内エコー (IVUS) が有用であることが報告されている^{1)~3)}。小児科領域でも大動脈狭窄や肺動脈狭窄に対するバルーン拡大術を施行する際、IVUS による動脈壁の観察が有用であることが報告されている⁴⁾⁵⁾。現在使用されている IVUS カテーテルは、先端から手前数十 cm までガイドワイヤーを通す腔が開いており、ガイドワイヤーを先行させて、IVUS カテーテルを進めていく方式である (モノレール式)。この方式では IVUS カテーテルを大動脈や冠動脈に進めることは容易であるが、肺動脈に進めることはしばしば困難で、迅速性にも欠ける。

そこで、あらかじめロングシースを肺動脈末梢まで

進めておき、ロングシース内に IVUS カテーテルを挿入し、シース内から肺動脈を観察すれば、IVUS カテーテルがより迅速に肺動脈に到達し、かつ拡大部位をカテーテルが通過しても安全となると思われた。そこで今回、我々はロングシースを使用して IVUS にて肺動脈を撮像する方法について検討した。

方 法

IVUS システム : IVUS は 30 MHz 3.5 F カテーテル (Sonicath, Boston Scientific) と Hewlett-Packard SONOS イメージシステムを用いた。画像はビデオテープに記録し、off-line で分析した。

In vitro 実験 : 血管壁を対象としたエコー輝度の測定では、血管が正円となりやすく、エコープローブを血管の中心に置くことが困難であったため、デイスポーザブル注射器の外筒を対象として、エコー輝度の測定を行った。生理食塩水を満たした水槽中に 2.5 ml デイスポーザブル注射器の外筒 (テルモ社製、内径 9.7

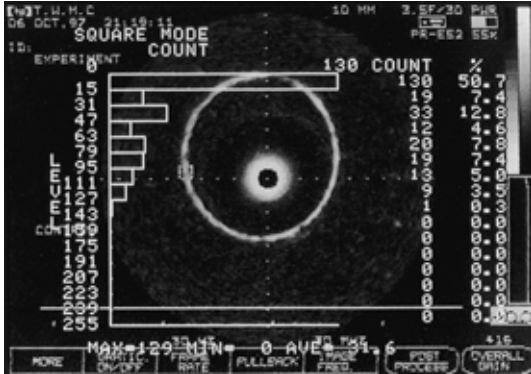


図1 IVUS画像の解析(デイスポーザブル注射器外筒の画像). 注射器壁に観測領域を指定し、領域内のエコー輝度を測定した. 各画像につきエコー輝度を黒(0)から白(255)までの256階調, 16段階に均等分割し, 各マトリックスの輝度を測定した. 図1の計測では, 黒が多く, 黒から白へ向けて9段階までの色調を認め, 10段階以降の白は認めない. 観測領域の平均の階調は31.6であった.

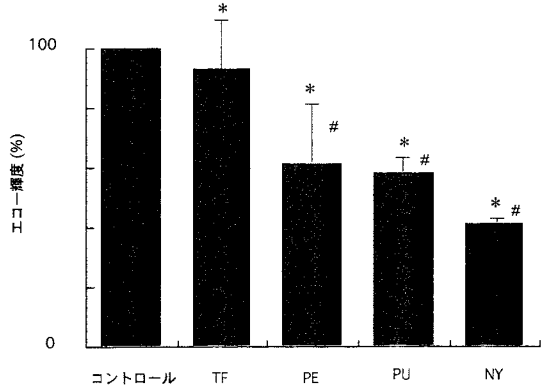


図2 各種材質の6Fシースを通して撮像したデイスポーザブル注射器壁のエコー輝度. PE: ポリエチレン, PU: ポリウレタン, NY: ナイロン, TF: テフロン. *: コントロールと比較して有意差あり(p<0.05). #: テフロンと比較して有意差あり(p<0.05). ナイロン, ポリエチレン, ポリウレタンの3者間では有意差はなかった.

mm, 肉厚0.8mm, ポリプロピレン製)を固定した. それらの中に, 様々な材質及び径のシースを挿入し, 固定した後, IVUSカテーテルをシース内へ進めた. 得られた注射器や大動脈の壁のIVUS画像のエコー輝度を測定した.

In vivo 実験: ロングシースの臨床使用として, 実際に患者肺動脈にロングシースを留置し, IVUS画像のエコー輝度を測定した. 患者の両親には検査内容を説明し, 承諾を得た. 対象は4例で, 疾患の内訳と年齢はFallot四徴症(心内修復術後)2例(3歳, 5歳), Fallot四徴症兼肺動脈閉鎖(Rastelli術後)1例(5歳), 完全大血管転換症I型(Jatene術後)1例(1歳)で, 全例肺動脈狭窄を伴っていた.

エコー輝度の測定: IVUS画像の記録は出力, ゲインを一定に保ったまま記録することとした. 画像処理装置として日本アビオニクス社製イメージΣXを使用した. 各画像につきエコー輝度を黒(0)から白(255)までの256階調, 16段階に均等分割し, 各マトリックスの輝度を測定した. デイスポーザブル注射器や動脈壁に関心領域を設定し, その領域内の平均輝度を求めた(図1). 関心領域内には, 対象物体以外に水による無エコー域が存在することもあり, そのため平均輝度が対象物体そのものの輝度より低く算出される可能性があった. これらの問題には, 1) 関心領域の大きさを

一定とすること, 2) 対象物体の壁の像に関心領域のほぼ中央に置くこと, 3) 時計方向の0時, 3時, 6時, 9時に関心領域を設定し, その平均を測定値とすること, 4) 関心領域のエコー輝度を, シースを使用しないで測定した値(コントロール)に対する相対値で表すことで対処した. ロングシースの使用が, 肺動脈壁のシグナル/ノイズ比に与える影響を, 肺動脈と動脈内腔とのエコー輝度の比を測定することで推定した.

統計学的処理: 2群間の比較には対応のないt検定を用い, 3群以上の比較には分散分析を行った後, Scheffeの方法を用いて比較した. 危険率5%未満を有意差ありとした. また測定値は平均±標準誤差で表した.

結果

1. ロングシースの材質

デイスポーザブル注射器の壁を, テフロンシース, ナイロンシース, ポリエチレンシース, ポリウレタンシースを通して撮像した. テフロンシースが最もエコー輝度の減衰が少なく, ポリエチレンとポリウレタンはほぼ同程度で, ナイロンは最も減衰が大きかった(図2). ナイロンシース, ポリエチレンシース, ポリウレタンシースの3者間では有意差はなかった. ポリエチレンで5F, 6F, 7Fシースを比較すると, 統計学的有意差はなかったが, シースのサイズが小さいほど減衰は少ない傾向にあった(図3). テフロンは硬く, 折

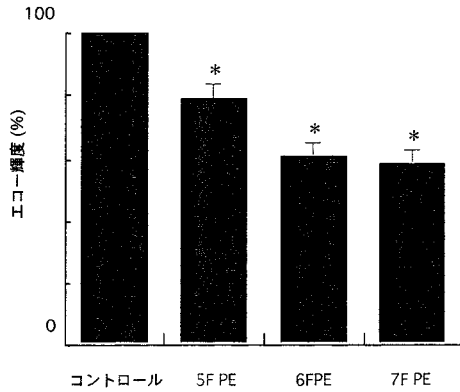


図3 各サイズのポリエチレンを通して撮像したデイスポーザブル注射器壁のエコー輝度。
* : コントロールと比較して有意差あり(p<0.05).

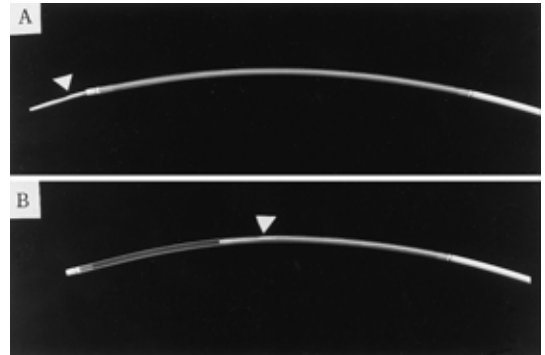


図4 IVUSカテーテルとロングシースとの組み合わせ
A)コントロール：IVUSカテーテルのプロープ部分をロングシース外に出した状態。
B)シース使用：5Fロングシースの中にIVUSカテーテルを入れた状態。
矢印はエコープローブ部分。

れ易い欠点があった。ポリエチレンとポリウレタンの比較では、前者の方が加工し易いという利点があった。そこで5Fポリエチレンロングシース(長さ100cm)を作製することとした。

2. 患者肺動脈

4症例ともに、0.035"ガイドワイヤー(アルゴン社製またはテルモ社製)を用いると、ロングシースを肺動脈末梢まで容易に進めることができた。また肺動脈末梢に留置したロングシースを用いて、IVUSカテーテルを容易に任意の肺動脈の位置に置くことができた。ロングシースなしの状態(コントロール)と、5Fロングシースの中にIVUSカテーテルを入れた状態(シース使用)とで、肺動脈の撮像を行った(図4A,B)。

コントロールでの肺動脈エコー輝度を100%とすると、シース使用では74±9%のエコー輝度で有意に低下した(図5A,B)。しかし肺動脈壁と動脈内腔とのエコー輝度の比、シグナル/ノイズ比はコントロール1.8±0.3、シース使用2.4±0.7で有意差はなかった。

考 案

小児科領域におけるIVUS法の有用性は、カテーテル治療の効果判定⁴⁾⁻⁶⁾、川崎病での冠状動脈の観察⁷⁾や先天性心疾患の術前、術後評価⁸⁾などで報告されている。肺動脈狭窄に対するバルーン拡大術前後でIVUSを施行するには、1)拡大用バルーンカテーテルを進めるためのガイドワイヤーとIVUSカテーテルを進めるためのガイドワイヤーが異なることが多いため、ガイドワイヤー交換が煩雑である、2)ガイドワイヤーを用いたモノレール方式ではIVUSカテーテルが肺動脈に進みにくい、3)ガイドワイヤーを通したままで

はIVUS画像が不鮮明となる部分が生じる、4)ガイドワイヤーを抜去すると、拡大部位をカテーテルが再通過するリスクがある、等の問題を抱えている。本研究は、ロングシースを使用してIVUS画像を得る方法について検討した。

1. ロングシースの径と材質

5F、6F、7Fポリエチレンシースを比較したところ、シース径が小さいほどエコー輝度への影響が少ない傾向があり、3.5F IVUSカテーテルに対しては、5Fロングシースを用いればよいと思われた。テフロンシースはエコー輝度の減衰が小さい点では他の材質より優れているが、その硬さのため蛇行させた場合に屈曲してしまう可能性が高く、肺動脈へ到達するロングシースとしては不適當と思われた。今回は易加工性の点でポリエチレンを使用した。一般的な材質しか検討しておらず、ポリエチレンが最良というわけではない。ちなみにBoston Scientific社のIVUSカテーテルはポリエチレンで被覆されている。

2. ロングシースのエコー輝度に対する影響

今回の結果は、5Fポリエチレンロングシース内よりIVUS撮像を施行すると、エコー輝度はコントロールの74%にまで減弱することを示した。ただし、それでも患者肺動脈壁の観察は十分に可能であった(図5A,B)。患者肺動脈におけるロングシースを使用した際のシグナル/ノイズ比はコントロールの値と同程度であった。このことは、シース使用により動脈壁からの

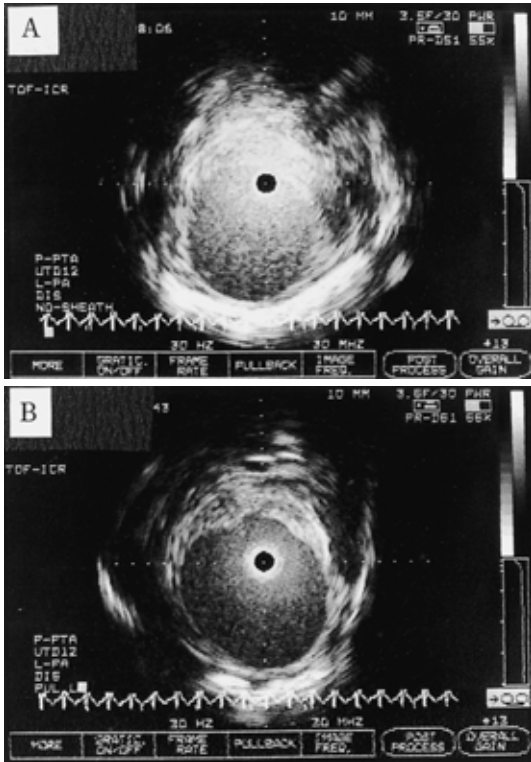


図5 患者肺動脈(Fallot 四徴症術後)のIVUS画像。図A, Bは同じゲインで測定した。A)コントロール: ロングシースなしで撮像。図A, Bは同じゲインで測定しているため、エコー輝度が強すぎ、内膜の肥厚の存在が不明瞭になっている。B)ロングシース内より撮像。肺動脈壁のエコー輝度はAの74%であった。上半分, 9時から12時, 12時から3時までの内膜の肥厚を認める。

信号も、動脈壁以外からの信号も同程度に減衰することを示し、画像の調整は出力やゲインの調節で対処可能であることを示唆する。ただし、動脈径が小さい(約

10 mm 以下)場合には、出力やゲインを調節することで対処可能でも、動脈径が大きい場合には3.5 F 30 MHz IVUS プローブでは画像が不鮮明となることが多い。IVUS カテーテルを肺動脈に留置したままで、ロングシースを引き、IVUS カテーテルを肺動脈内に露出すれば輝度は上がるが、カテーテルがバルーン拡大部を行き来することになり、危険となる場合がある。

我々は、現在カテーテルの交換、IVUS 撮像を以下の手順で施行している。まず 0.035" のガイドワイヤーを肺動脈末梢に留置し、5 F ロングシースを肺動脈末梢まで進めておく。ガイドワイヤーを抜去後、IVUS カテーテルを挿入する。IVUS の撮像はロングシース内より施行し、IVUS カテーテルを抜去し、再びガイドワイヤーを肺動脈末梢に挿入する。バルーン拡大術を施行した後は、同様の方法で再度ロングシース内よりIVUS 撮像を行う。以上の方法で、迅速に通常の診断カテーテル、拡大用バルーンカテーテル、IVUS カテーテルの間の交換が可能となっている。

IVUS カテーテルの仕様の変遷は急激で、今回用いた 3.5 F 30 MHz の IVUS カテーテルは既に製造中止になっている。現在入手可能な IVUS カテーテルには様々なサイズや性能のものがあり、その一部を表 1 に示した。12.5 MHz 6.5 F カテーテル (Boston Scientific 社製) や 3.2 F IVUS カテーテル (CVIS, Boston Scientific 社製) を用いる際には、より太いロングシースが必要となる。我々は現在、6.5 F カテーテルを用いる際には、今回の実験結果をふまえ、6.5 F IVUS カテーテルの内筒金属部分を引き抜き、6 F ポリエチレンシースに入れ直して使用している。また 3.2 F CVIS 社製 IVUS カテーテルには 7 F ロングシースが必要となる。Boston Scientific 社製の 6 F カテーテル (20 MHz) には 0.035 インチのガイドワイヤーが通るので、ロングシースを使用せず、モノレール方式で肺動脈に

表 1 主な血管内エコーカテーテルの種類とサイズ

製造メーカー	カテーテル名	シャフト径 (先端 / 手前)	周波数	適合ロングシース ^{注1)}	適合ガイドワイヤー
Boston Scientific	ソニカテ	3.5F/3.5F	30 MHz	5F	0.014 インチ
Boston Scientific	ソニカテ	8F/6F	12.5 MHz	8F	0.025 インチ
Boston Scientific	Sonicath Ultra	3.2F/4.0F	20 MHz	7F	0.018 インチ
Boston Scientific	Sonicath Ultra	6.0F/6.0F	20 MHz	8F	0.035 インチ
Boston Scientific	Ultra Cross	2.9F/4.0F	30MHz	7F	0.018 インチ
Johnson-Johnson	オラクル	3.5F/3.0F	20MHz	5F	0.014 インチ

現存する IVUS カテーテルの一部を示した。^{注1)}: TN ロングシース (カテックス社製) 使用の場合のシースサイズを示す。上から 2 つの IVUS カテーテル (ソニカテ) は製造中止となっている。

IVUS カテーテルを進めることができる可能性がある。但し 12.5 MHz や 20 MHz のエコープローベでは肺動脈の内膜や中膜の撮像が不鮮明になる傾向がある。また、IVUS カテーテルには、今回用いた 3.5 F 30 MHz の IVUS カテーテルの様にカテーテルの先端にエコープローベが固定されている型と、先端 10~15 cm のポリエチレンシースの中をエコープローベが移動できる型とがある。3.2 F CVIS 社製 IVUS カテーテルは後者のタイプであるが、モノレール方式では肺動脈へカテーテルを進め難い欠点があることは他のカテーテルと同じである。今後新しいタイプの IVUS カテーテルが開発、発売されてくると思われるが、基本的なロングシースの有用性に関しては、大きくは変化しないと思われる。今回試作したロングシースは様々なサイズのものが既に市販されている(カテックス社製、TN ロングシース)。

文 献

- 1) Takazawa K, Fujita M, Tanaka N, Takeda K, Ishimura M, Kawaguchi H, Matsuoka O, Kurosu F, Tamura S, Ibukiyama C : Comparison of lumen area after PTCA by IVUS and QCA. *Heart Vessels* 1997 ; (Suppl)12 : 217 220
- 2) Kawata M, Okada T, Igarashi N, Okajima K, Domoto Y, Mizutani T : Assessment of intravascular ultrasound-bearing balloon catheter-guided percutaneous transluminal coronary angioplasty and stenting. *Heart Vessels* 1997 ; (Suppl)12 : 185 187
- 3) Tielbeek AV, Vroegindewij D, Gussenhoven EJ, Buth J, Landman GH : Evaluation of directional atherectomy studied by intravascular ultrasound in femoropopliteal artery stenosis. *Cardiovasc Intervent Radiol* 1997 ; 20 : 413 419
- 4) Ino T, Okubo M, Akimoto K, Yabuta K, Watanabe M, Hosoda Y : Mechanism of balloon angioplasty in children with arterial stenosis assessed by intravascular ultrasound and angiography. *Am Heart J* 1995 ; 129 : 132 138
- 5) Harrison JK, Sheikh KH, Davidson CJ, Kisslo KB, Leithe ME, Himmelstein SI, Kanter RJ, Bashore TM : Balloon angioplasty of coarctation of the aorta evaluated with intravascular ultrasound imaging. *J Am Coll Cardiol* 1990 ; 15 : 906 909
- 6) Ino T, Kishiro M, Okubo M, Akimoto K, Nishimoto K, Yabuta K, Kawasaki S, Hosoda Y : Dilatation mechanism of balloon angioplasty in children : assessment by angioplasty and intravascular ultrasound. *Cardiovasc Intervent Radiol* 1998 ; 21 : 102 108
- 7) Sugimura T, Kato H, Inoue O, Fukuda T, Sato N, Ishii M, Takagi J, Akagi T, Maeno Y, Kawano T, Takagishi T, Sasaguri Y : Intravascular ultrasound of coronary arteries in children : assessment of the wall morphology and the lumen after Kawasaki disease. *Circulation* 1994 ; 89 : 258 265
- 8) Ishii M, Kato H, Kawano T, Akagi T, Maeno Y, Sugimura T, Hashino K, Takagishi T : Evaluation of pulmonary artery histopathologic findings in congenital heart disease : an in vitro study using intravascular ultrasound imaging. *J Am Coll Cardiol* 1995 ; 26 : 272 276
- 9) Coy KM, Maurer G, Siegel RJ : Intravascular ultrasound imaging : a current perspective. *J Am Coll Cardiol* 1991 ; 18 : 1811 1823

Intravascular Ultrasound Imaging of the Pulmonary Artery Using a Long Sheath

Manatomo Toyono, Toshio Nakanishi, Chisato Kondo, Hirofumi Tomimatsu and Kazuo Momma
Department of Pediatric Cardiology, Heart Institute of Japan, Tokyo Women's Medical University

Intravascular ultrasound(IVUS)imaging of the pulmonary arteries was performed with the use of a long sheath to deliver the IVUS catheter to the peripheral pulmonary artery and to observe the vascular wall while the IVUS catheter remained inside the sheath.

As a preliminary in vitro study, we determined the effect of the material of a long sheath on the echogenicity of the wall of a disposable syringe, in which the IVUS catheter was placed in a water bath containing saline. We used a 5 F, 6 F or 7 F long sheath made from teflon, polyethylene, polyurethane, or nylon. The effect of the material of a long sheath on the echogenicity of a syringe was as follows ; nylon > polyethylene = polyurethane > teflon. Although teflon sheath had the least effect on IVUS imaging, the material was thought to be too stiff and in order to make a soft sheath, polyethylene was chosen. The effect of size of the long sheath on the echogenicity of a syringe was as follows ; 5 F < 6 F < 7 F. Therefore, a 5 F polyethylene long sheath (90 cm in length) was manufactured.

We then used the long sheath clinically for IVUS imaging of the pulmonary artery in 4 patients with pulmonary stenosis. We measured the effect of the long sheath on echogenicity of the pulmonary artery wall. The echogenicity of the pulmonary artery which was recorded while the IVUS catheter remained in the sheath was 74% of that recorded without using the long sheath. Although the echogenicity of the vascular wall was less with the use of a long sheath, the signal/noise ratio remained similar. With the use of the long sheath, the IVUS catheter could be delivered to the peripheral pulmonary artery without difficulty. It is expected that exchange of the IVUS catheter, regular catheters, and guide wires is easier with the use of the long sheath.
