

テル検査での肺動脈造影は直接血管の内腔を描出することが可能であり、最も計測に適した方法とされている。しかし、得られる情報は血管内腔の射影情報であり、角度によっては計測値を過小評価する可能性がある。また二つの構造物が前後に重なると、瘤形成がみられた症例のように前方の構造物にマスクされて正確な情報が得にくくなる難点がある。また、インターベンションカテーテル検査施行前に診断目的のみでカテーテル検査を施行する事は、患者の負担の点からもコストの点からも難がある。したがって、カテーテルインターベンションの際、造影情報によって即時に適切なデバイスを選択することが一般的である。このためには豊富な経験があることと準備できるデバイスの種類が潤沢であることが必要条件となり、この二者を満たすことは必ずしも容易ではない。

三次元 CT 検査では、造影用の静脈ラインの確保以外には患者の苦痛もわずかで済む一方、血管内腔の形状、径、距離について比較的正確な情報を得ることができる。解析に際して対象血管以外の構造物をソフトウェア的に自動的に消去し、任意の方向に回転させて形状を観察、計測することが容易である。病変部については任意の断面での thin slice 2D 画像を再構成することもでき、これによりさらに正確な情報を得ることが可能である。今回の検討では心カテーテル検査で得られた径情報についてはよい相関が得られ、いずれの方法も径の計測には適していることが示された。二つの評価法で微少な差がみられた理由としては、CT では任意の方向からの径計測が可能であることから、血管造影とは異なる角度からの評価となり、正円でない血管径の値に差異が生じた可能性があげられる。血管長の計

測の場合、撮像角度によって心カテーテル検査を用いた評価では短く評価されることがあった。血管長はバルーン血管形成法におけるバルーン長やステント留置の際のステント長の選択にかかわる重要な情報であるが、射影情報のみを扱う血管造影法にはこの評価に限界があることを示している。特に既知の形態をとらない肺動脈の場合、撮影角度を経験的に判断することが多く、この誤差が問題となる可能性が高い。

三次元 CT 検査については以下の問題点があげられる。1. Fig4 にあげたように手術に際して artifact をもたらしような異物が留置されている場合血管の描出が不可能な場合がある。短絡血管の処理に際して使用するクリップ、また異常血管の閉鎖に際して使用するコイルなどの金属デバイスは肺動脈近傍で用いられることが多く、CT 画像構築の大きな妨げとなる。また、末梢肺動脈狭窄にステントを用いた場合、以降の状態を CT で把握することは事実上不可能になる。2. 通常の単純写真に比して CT の放射線被曝量は 20 倍程度と多い。ただし、心カテーテル法による造影検査では CT 検査に比してさらに被曝量が多くなるため、カテーテルに比べれば有利である。3. 血管内腔の描出には優れているが、血管の拡張可能性に関連する血管壁構造についての情報は得られない。この点は血管内エコーによる評価に頼らなければならない。

このように三次元 CT に特徴的な問題点はあるものの、カテーテルインターベンションに必要な末梢肺動脈の距離情報を得るには三次元 CT は非常に有用である。特に、血管の分岐角度が通常とは異なる複雑な血管形態を示す症例では、造影検査のみでは距離情報を得にくく、任意の角度から形態を観察できる三

次元 CT 検査は必須の画像診断法となりうる。  
今後、他の画像診断モダリティを補完する  
新しい診断法として重要な地位を占めること  
になるだろう。

(研究協力者 磯田貴義 国立成育医療センター循環器科)

末梢性肺動脈に対するカテーテルインターベンションにおける三次元CT画像情報の有用性に関する研究

分担研究者 石澤 瞭 国立成育医療センター第一専門診療部長

A. 研究目的

末梢性肺動脈狭窄はファロー四徴症を始めとした種々の先天性心疾患に合併する小児循環器領域で頻度の高い心血管合併病変である。末梢性肺動脈狭窄は合併先天性心疾患の根治性に著しく関与するとともに、根治手術後の長期的なmorbidityおよびmortalityに直接影響する。

近年、末梢性肺動脈狭窄に対する治療法としてカテーテルインターベンションの重要性が増しており、わが国では多くの小児循環器専門施設で治療法としてバルーン血管形成およびステント留置が選択されるようになってきた。

末梢性肺動脈狭窄に対するカテーテルインターベンションに際しては、狭窄部最小径、狭窄遠位部径、狭窄部長などの形態を把握し、適切な治療器具を選択する必要がある、より正確な画像情報を得ることが望ましい。このため、経胸壁心エコー図検査、血管内エコー検査などの超音波検査および心カテーテル検査による血管造影法による情報が重要視されてきた。しかしながら、三次元構造をもつ血管に対して、血管の射影情報しか得られない血管造影法やエコー窓の制限から肺動脈に対する任意の断面を得ることが困難な心エコー法では、狭窄部の状態を正確に評価することは容易ではない。

さて、心臓血管領域でも従来からX線コンピュータ断層撮影法(X線CT)を用いた画像情報が評価されてきたが、X線CTは核磁気共鳴コンピュータ断層撮影法(MRI-CT)に対して、体軸にほぼ垂直な平面での断層像を得ることを主目的としていた。このため任意の断面をえやすいMRI-CTに比し、直観的な画像情報が得られにくかった。一方MRI-CTは原理的に撮影時間が長い、乳幼児に適用す

ることは臨床的には容易でなかった。ところが、近年の機械工学の発展に伴う撮影時間の短縮化およびコンピュータ解析技術の発展により、X線CTによっても任意の断面や三次元画像の再構築が比較的容易に得られるようになってきている。

本研究は肺動脈狭窄病変に対して、造影胸部X線CT法を施行し、肺血管の三次元構築および任意断面の再構築を行うことにより、カテーテルインターベンションに必要な血管情報を、従来の手法に比して、より正確にかつ簡便に得られるか否かを検討することを主目的としている。

B. 研究方法

対象：末梢性肺動脈狭窄症に対してカテーテルインターベンションを施行する可能性のある患者6例(Table 1)を対象にし、以下の画像診断法を用い、各モダリティによって得られる情報の描出可能性、定量性、質的な差異について検討した。

1. X線CT三次元構築法：原則としてカテーテルインターベンション前に造影X線CT法を施行し三次元肺動脈形態を構築し、以下のパラメーターを算出した。

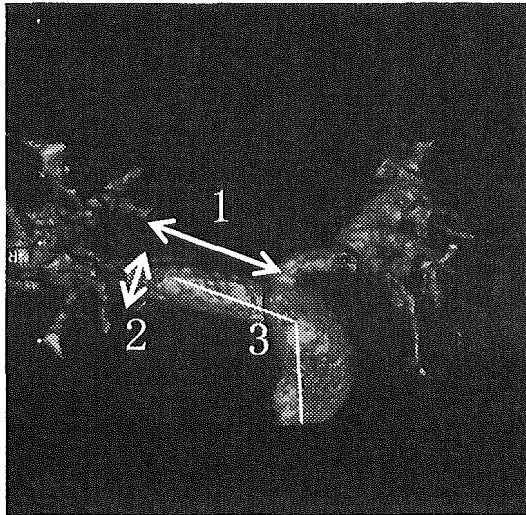
①主肺動脈径 ②左右肺動脈における第一分枝部での肺動脈径 ③狭窄部径 ④左右肺動脈分岐部から第一分枝まで長さ ⑤主肺動脈左右肺動脈分岐角  
X線CTによる三次元(画像)構築方法

X線CT装置としてGE社製Light Speed Ultra(8列検出器MDCT)を用い、電圧120kv, 電流Auto(体重別計算で上限設定あり), scan time 0.5s, table pitch 1.675:1, table speed 16.75 mm/rot, Detector configuration 1.25mmx8 で撮影を行った。撮影は患者覚醒の状態で行い、造影剤は末梢静

Tbl 1 対象症例

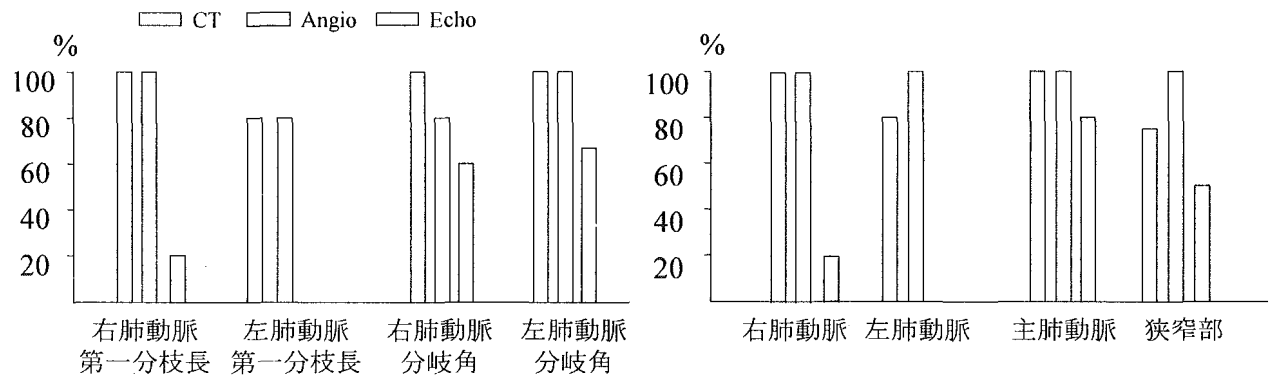
性	年齢	診断
女	5.4	肺動脈閉鎖兼心室中隔欠損、主要体動脈肺動脈側副血行路
男	10.7	無脾症候群、肺動脈閉鎖、両側肺動脈狭窄
男	0.9	ファロー四徴症、左肺動脈欠損
男	18.9	心室中隔欠損、肺動脈絞扼術後根治術後、右肺動脈狭窄
男	10.1	ファロー四徴症、左肺動脈狭窄
女	8.0	ファロー四徴症、左肺動脈狭窄

Fig 1 三次元CT検査計測方法



- 1: 左右肺動脈径は第一分枝分岐部で計測した。
- 2: 左右肺動脈長は左右肺動脈の主肺動脈分岐部から第一分枝までの長さとした。
- 3: 肺動脈分岐角を得るために、まず主肺動脈にほぼ直交する軸で回転し、最小の分岐角度となる位置を得た。さらにこの回転軸に直交し主肺動脈、末梢肺動脈と同一平面になる新たな軸の周囲で回転させ、最大の分岐角度を肺動脈分岐角とした。

Fig 2 各モダリティーにおける描出可能性



脈より総量2ml/kg、秒間2mlでイオパミロン300を注入した。直後に鎖骨下静脈内の造影剤のアーチファクトを避けるために生理的食塩水20mlを秒間1mlで後押し用に注入した。通常は造影剤注入終了時点から10~15秒待って撮影開始としたが、鎖骨下静脈内の造影剤のアーチファクトが問題にならない場合にはより早い時点から撮影を開始した。

三次元画像は東陽メディック社製Vitria 2 Workstationで再構成した。肺動脈3D再構成条件はGallery(=プロトコール):Aorta CT (3D vessel survey: サーフェースレンダリング)を使用した。

2. 心エコー図検査: 同一患者群に対してATL HDI5000による心エコー図検査を施行した。複数の断面から最も血管が描出されやすい断面を選択し、血管の描出性、狭窄病変の等についてCT検査と同様のパラメーターを評価した。

3. 心カテーテル造影検査: 通常的心カテーテル検査において肺動脈造影を行い、頭側35度左斜位35度の条件で撮影を行った。造影後2cmのグリッドを同角度で撮影し、これを用いて距離補正を行い、同

様のパラメーターを算出した。

各モダリティーを用いて計測が可能であった部位の割合を描出性として算出し比較するとともに、得られた計測値を各モダリティー間で比較した。

### C. 研究結果

#### 1. 形態の描出性

fig 2に各モダリティーにおける描出性を示した。末梢血管径の計測において三次元CTおよび心カテーテル造影検査はほぼ同等の描出性を示したが、心エコー図は明らかに描出が不良であった(fig 3)。特に左肺動脈第一分枝部径は末梢の描出が困難で、計測がほぼ不可能であった。また、狭窄部の描出についても心エコー図は50%の症例で描出が不可能であった。描出が不可能な症例は年齢が高い症例がほとんどであった。また、血管長についても心エコーでは計測不可能な症例が多かった。

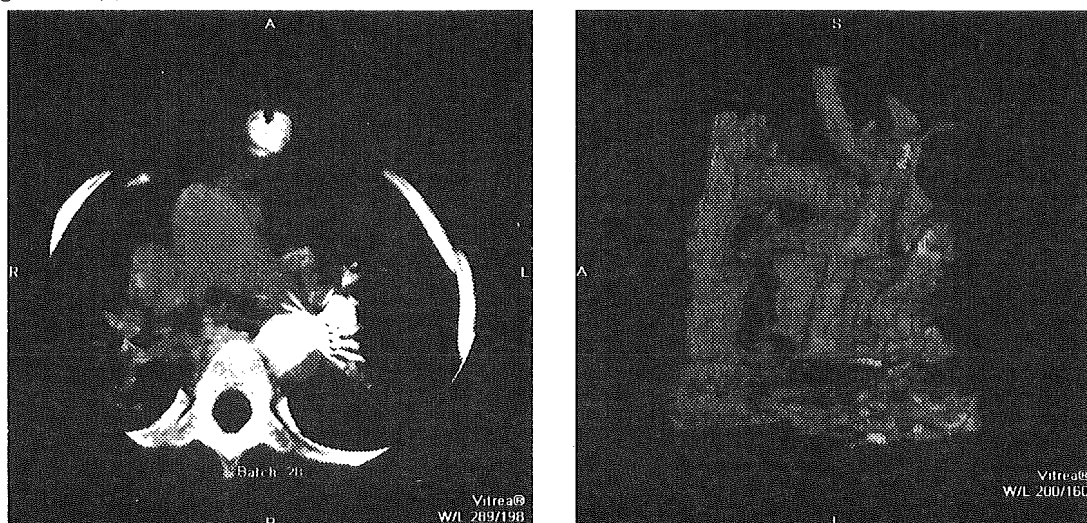
fig 4は三次元CTで左肺動脈径の測定が不可能であった症例である。手術時に左側のBlalock-Taussig短絡のクリッピングが行われており、ステンレス製のクリップが水平方向のartifactをもた

Fig 3 ファロー四徴症，左肺動脈狭窄症例における描出性



心エコー図検査(左)では左肺動脈末梢部の描出が十分にできていない。血管造影(中央)では左肺動脈が鋭角に分岐している様子が観察されるが、CT(右)ではより詳細に分岐の状態が描出されている。

Fig 4 金属クリップによる artifact



左Blalock-Taussig短絡の外科的閉鎖に際してステンレスクリップが使用されたがこのため2D画像(右)に示すようにartifactが生じている。三次元構築画像では矢印に示すように水平方向に画像が抜けてしまっている。

らし、左肺動脈の情報が見失われていた。

## 2. 計測値の比較

### a 血管径

描出が可能であった病変を対象にし、三者の比較を行った。心エコー図検査では血管径は細めに評価される傾向を示した。CTと心カテーテル検査の比較ではいずれの部位においても明らかな差異は認められなかった。この二者の計測値はfig 5に示すように良好な相関を示した。

### b 分岐部からの距離

左肺動脈分枝までの距離には、CTと心カテーテル検査の間で有意な差はみられなかった。一方、右肺動脈分枝までの距離は心カテーテルの場合、有意に短く評価された。

### c 分岐角

左右肺動脈分岐角は各モダリティの間にながりの差を認めた。しかしながらその傾向は一定では

なかった。

## 3. 特異な病変の描出

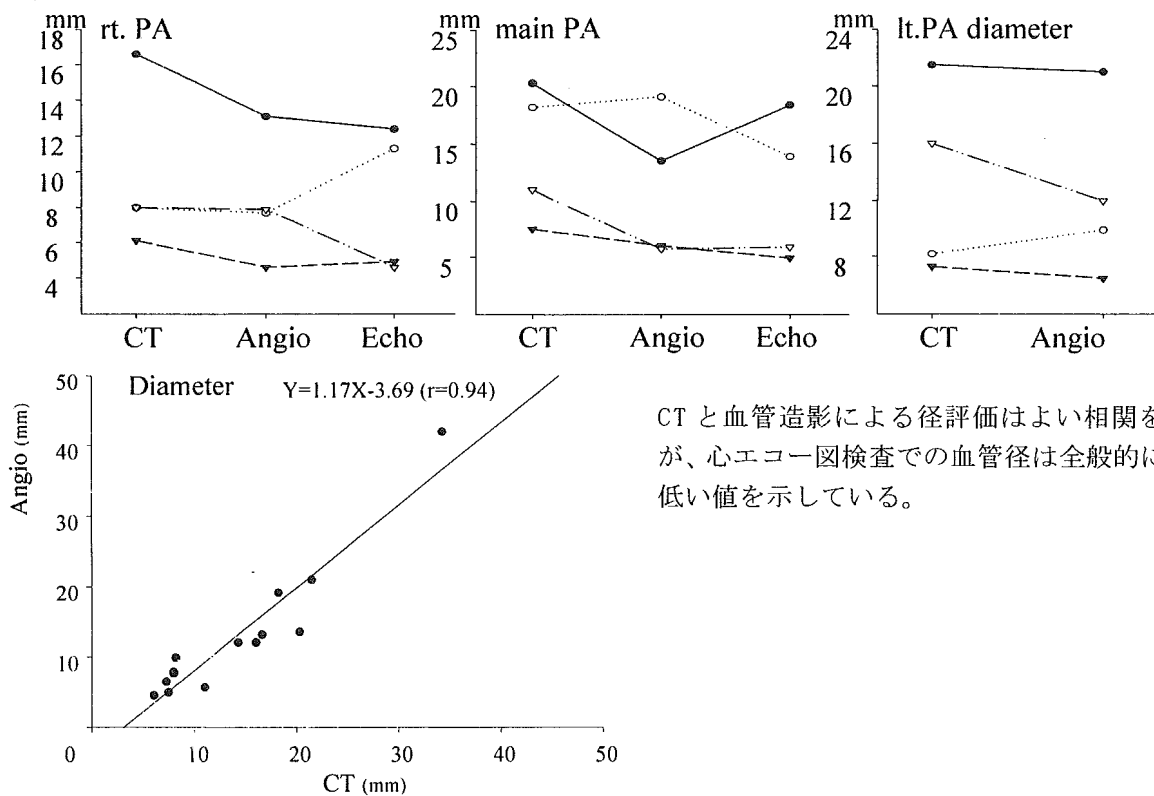
fig7に示す症例(18歳)は肺動脈絞扼術後生じた右肺動脈狭窄に対して、3年前にバルーン血管形成を施行した症例であった。この症例は心エコーによる肺動脈の描出が困難であり、造影検査でも当初は右肺動脈にある瘤病変を指摘できなかった。三次元CTによって右後方に突出する径8mmの動脈瘤が明瞭に観察された。

## D. 考察

カテーテルインターベンションによる末梢性肺動脈狭窄拡張に際しては、事前に可能な限り詳細な解剖学的情報を得ることにより、手技に伴うリスク、およびコストを低減できる。

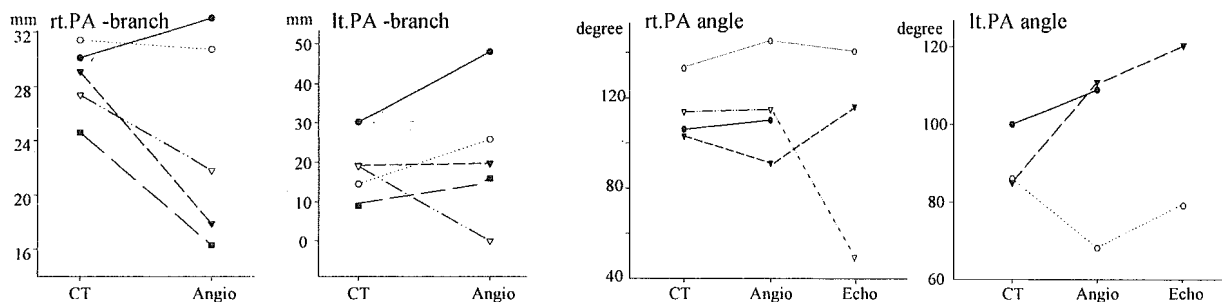
経胸壁心エコー図検査はカテーテル前に簡便に施行できる方法であるが、実際には今回の検討で

Fig 5 各モダリティーによる血管径計測値と相関



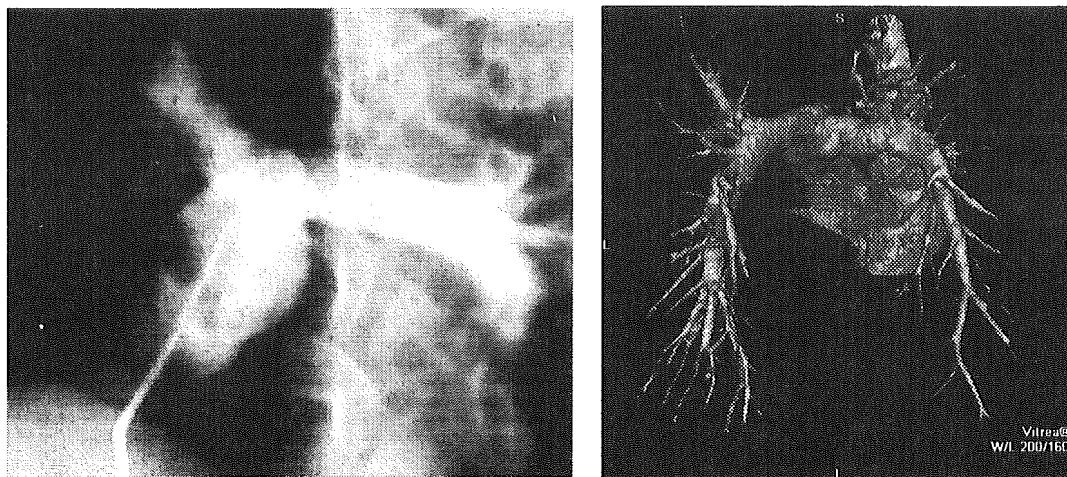
CTと血管造影による径評価はよい相関を示すが、心エコー図検査での血管径は全般的にやや低い値を示している。

Fig 6 末梢血管長、分岐角の比較



撮影角度の問題から右肺動脈第一分枝長は血管造影法で短く評価された。左肺動脈はほぼ同等の評価となった。分岐角度は各モダリティーでかなりの差を認めた。

Fig 7 右肺動脈起始部動脈瘤



血管造影では形態が十分把握できない動脈瘤が三次元CTでは明瞭に描出されている。

もみられたように、年齢が高い症例では画像の描出性に乏しく、必要な病変部の情報が得られないことも多い。一方、カテーテル検査での肺動脈造影は直接血管の内腔を描出することが可能であり、最も計測に適した方法とされている。しかし、得られる情報は血管内腔の射影情報であり、角度によっては計測値を過小評価する可能性がある。また二つの構造物が前後に重なると、瘤形成がみられた症例のように前方の構造物にマスクされて正確な情報が得にくくなる難点がある。また、インターベンションカテーテル検査施行前に診断目的のみでカテーテル検査を施行する事は、患者の負担の点からもコストの点からも難がある。したがって、カテーテルインターベンションの際、造影情報によって即時に適切なデバイスを選択することが一般的である。このためには豊富な経験があることと準備できるデバイスの種類が潤沢であることが必要条件となり、この二者を満たすことは必ずしも容易ではない。

三次元CT検査では、造影用の静脈ラインの確保以外には患者の苦痛もわずかで済む一方、血管内腔の形状、径、距離について比較的正確な情報を得ることができる。解析に際して対象血管以外の構造物をソフトウェア的に自動的に消去し、任意の方向に回転させて形状を観察、計測することが容易である。病変部については任意の断面での thin slice 2D 画像を再構成することもでき、これによりさらに正確な情報を得ることが可能である。今回の検討では心カテーテル検査で得られた径情報についてはよい相関が得られ、いずれの方法も径の計測には適していることが示された。二つの評価法で微少な差がみられた理由としては、CTでは任意の方向からの径計測が可能であることから、血管造影とは異なる角度からの評価となり、正円でない血管径の値に差異が生じた可能性があげられる。血管長の計測の場合、撮像角度によって心カテーテル検査を用いた評価では短く評価されることがあった。血管長はバルーン血管形成法におけるバルーン長やステント留置の際のステント長の選択にかかわる重要な情報であるが、射影情報のみを扱う血管造影法にはこの評価に限界があることを示している。特に既知の形態をとらない肺動脈の場合、撮像角度を経験的に判断することが多く、この誤差が問題となる可能性が高い。

三次元CT検査については以下の問題点があげられる。1. Fig4にあげたように手術に際して artifact をもたらすような異物が留置されている場合血管の描出が不可能な場合がある。短絡血管の処

理に際して使用するクリップ、また異常血管の閉鎖に際して使用するコイルなどの金属デバイスは肺動脈近傍で用いられることが多く、CT 画像構築の大きな妨げとなる。また、末梢肺動脈狭窄にステントを用いた場合、以降の状態をCTで把握することは事実上不可能になる。2. 通常の単純写真に比してCTの放射線被曝量は20倍程度と多い。ただし、心カテーテル法による造影検査ではCT検査に比してさらに被曝量が多くなるため、カテーテルに比べれば有利である。3. 血管内腔の描出にはすぐれているが、血管の拡張可能性に関連する血管壁構造についての情報は得られない。この点は血管内エコーによる評価に頼らなければならない。

このように三次元CTに特徴的な問題点はあるものの、カテーテルインターベンションに必要な末梢肺動脈の距離情報を得るには三次元CTは非常に有用である。特に、血管の分岐角度が通常とは異なる複雑な血管形態を示す症例では、造影検査のみでは距離情報を得にくく、任意の角度から形態を観察できる三次元CT法は必須の画像診断法となりうる。今後、他の画像診断モダリティを補完する新しい診断法として重要な地位を占めることになるだろう。

(研究協力者 磯田貴義 国立成育医療センター循環器科)

## 厚生労働省効果的医療技術の確立推進臨床研究事業

### 分担研究報告

#### 脱落・迷入ステントの経皮的回収方法についての検証と検討

兵庫県立こども病院 循環器科 黒江兼司

(目的) 脱落・迷入ステントのより安全で容易な回収方法を考案すること

(はじめに) 現在小児領域にて施行されているステント留置術は、小児には、成長という特性があり、血管径の増大が将来に予期されるため、幼少時であっても、成長とともに将来さらに大きな径に再拡張が可能な、大口径のステント(Palmazs stent:large type)が選択されることが多い。従って、意図した留置場所からの脱落や他の部位に迷入した場合、その経皮的回収には非常に困難を要し、外科的に開心術を施行し、回収せざるを得なくなった例も存在する。以前、ステントの脱落に遭遇し、それを経皮的に回収した経験から、その時の回収の手順や回収時のステントの変形について、体外実験により、検証および検討を行い、脱落・迷入ステントのより安全で容易な回収方法を考案した。



## (脱落・迷入ステント回収の経験)

### 「症例」

フォロー四徴心内修復術後 左肺動脈分岐部狭窄、6才 11 ヶ月、男児。

### 「現病歴」

5才2ヶ月の時、心内修復術施行。術後1ヶ月の心臓カテーテル検査にて、左肺動脈の分岐部狭窄が疑われる。外来にて経過観察を開始し、肺血流シンチによる評価にて、左右肺動脈の著しい左右不均衡が認められたため、6才6ヶ月(心内修復後 1 年 3 ヶ月)に左肺動脈分岐部狭窄に対してバルーン血管形成術を施行した。バルーン拡張により waist は消失したが、バルーンの deflation にて直後に再狭窄が出現した。従って今回、6才 11ヶ月(心内修復後 1 年8ヶ月)に、同狭窄部位に、ステント留置術を施行した。

### 「左肺動脈分岐部圧較差」

主肺動脈圧は 32/6/15 mmHg(収縮期圧/拡張気圧/平均圧)、左肺動脈圧 19/5/9 であり、狭窄部での圧較差は 12mmHg と軽度であった。

「肺動脈造影(図1、2)」

肺動脈造影にて左肺動脈分岐部に最狭窄径 2.9mm の限局した、狭窄を認める。



図1. 肺動脈造影 正面像

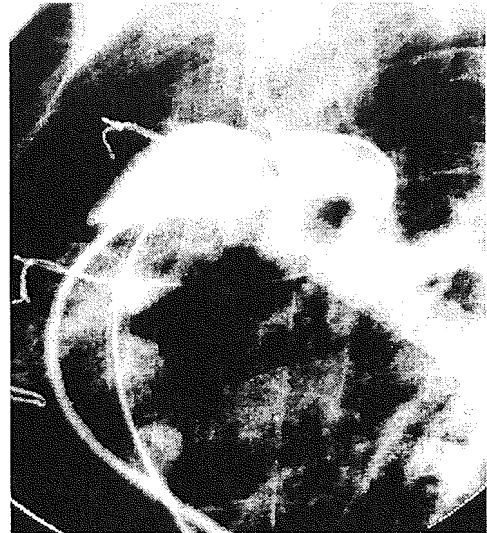
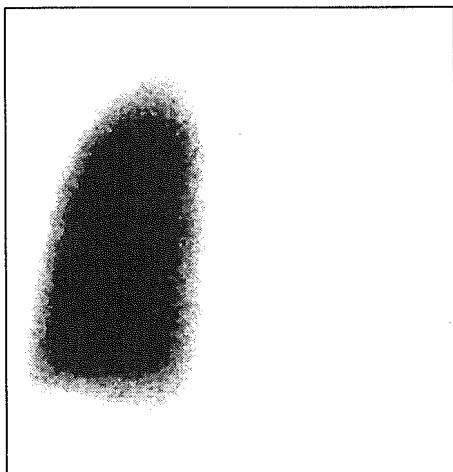


図2. 肺動脈造影 側面像

「肺血流シンチ(図3)」



肺血流シンチにて、左右肺血流分布比  
右:左=87:13 と著明な不均衡を認める。

以上のように、片側の肺動脈分岐部狭窄であり、狭窄部での圧較差は軽度であるが、著しい肺血流分布の不均衡が認められるため、バルーンによる拡大を施行した。しかし、バルーンにて狭窄部は解除されるが、直後に再狭窄をきたすため、ステント留置の良い適応であると判断した。

#### 「ステント留置と脱落」

左肺動脈分岐部狭窄、最狭窄部 2.9mm に対し 10mm 径のバルーンにて Pulmuts1808 ステントを留置したが、直後にステントは主肺動脈に脱落した。その後ステントは右肺動脈へ迷入した。ステントを右肺動脈に留置することも考慮したが、ステントにより分岐した枝の閉塞が避けられないためステントの回収を行うこととした。

#### 「脱落ステント回収方法」

1.回収の準備として「シース・イン・シース・メソッド」(図4:ロングシースとそれより2F サイズ大きなショートシースを2重に用いる方法)を採用した。すなわち、大腿静脈部のショートシースを13Fサイズに変更し、その中に、回収用の11Fサイズのロングシース(長さ65cm)を挿入する方法である。

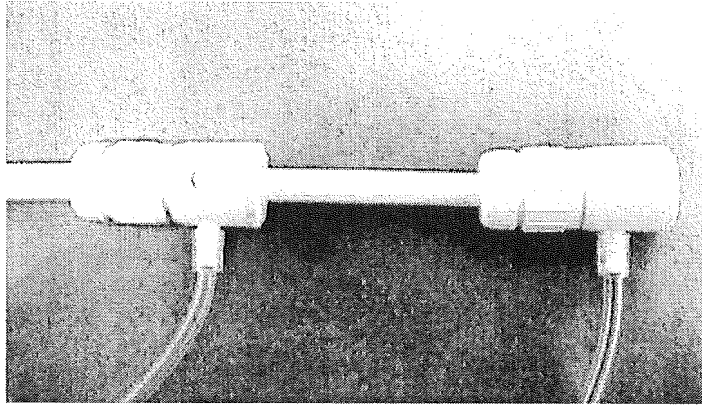


図4 シース・イン・シース・メソッド

## 2. ロングシース先端の加工

回収用の 11F ロングシースの先端には縦 2cm の割を入れ、スプーン状に  
拡がるように加工し(図5)、大体静脈に留置したショートシースに挿入し  
た。

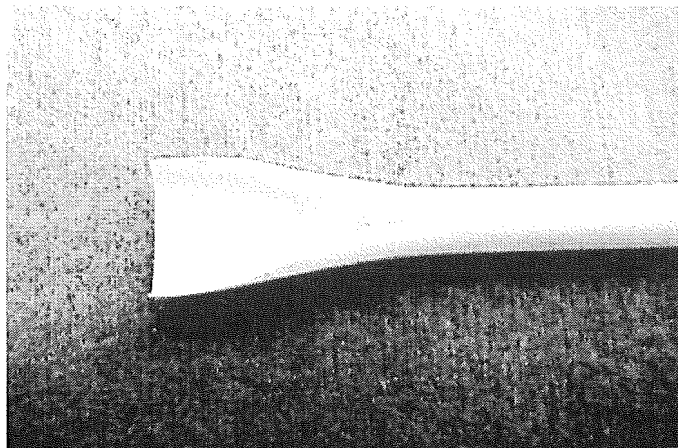
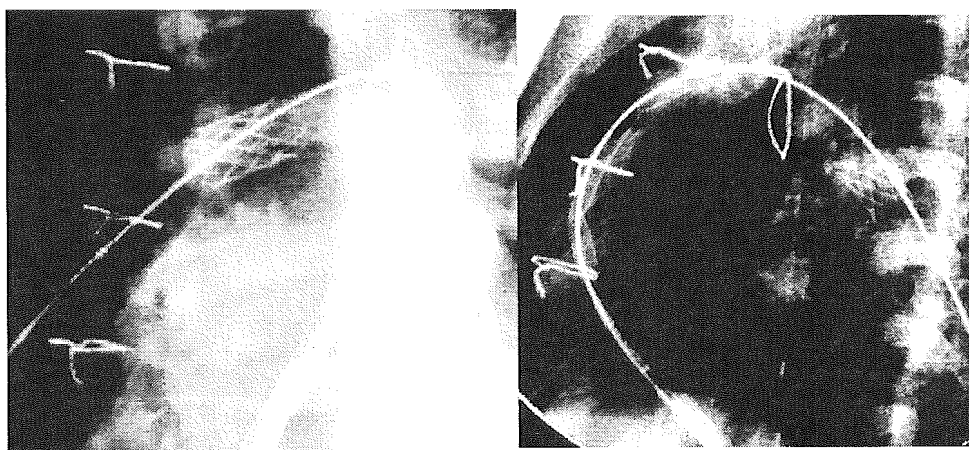


図5 先端に 2cm 程度の割を入れスプーン上に形成したロングシース

3. ステントのメッシュの間をカテーテルやワイヤーが通過することを避けるため、ステントの内側にエンドホールのバルーンカテーテルを通過させ、その中を通しステントの内側を貫通した状態で、肺動脈末梢までワイヤーを留置した。そのワイヤーに被せて11Fロングシースをステント手前まで進めた。体外でグースネックワイヤー(15mm 径)をスネアカテーテルにセットした後、そのグースネックワイヤーのリング部分を、ステントの内側を貫通し肺動脈末梢にまで留置しているワイヤーの後端より通し、ロングシース内に挿入し、ロングシース先端より出し、ステント手前まで進めた。(図6)

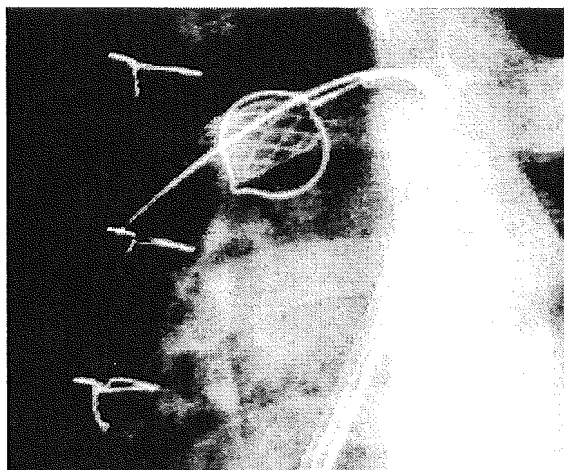


正面

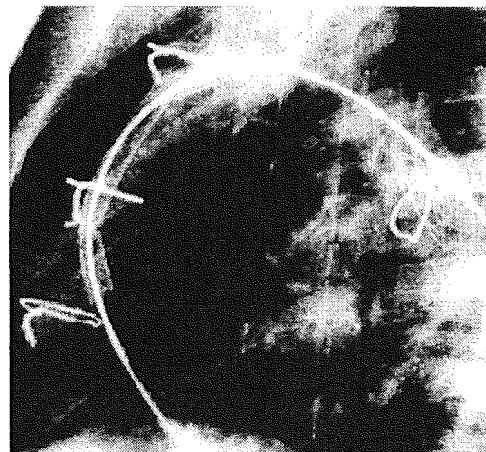
側面

図6

4. グースネックワイヤーのリング部分が最大まで広がるよう、グースネックワイヤーを操作し、リング部分がステントの外周をすべて取り巻くようにした。その後、グースネックワイヤーを保持した状態で、スネアーカテーテルを進めて、リング部分の径を小さくすることにより、ステントを把持した。



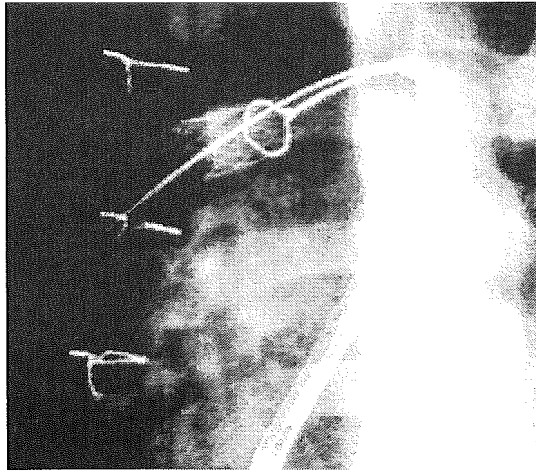
正面



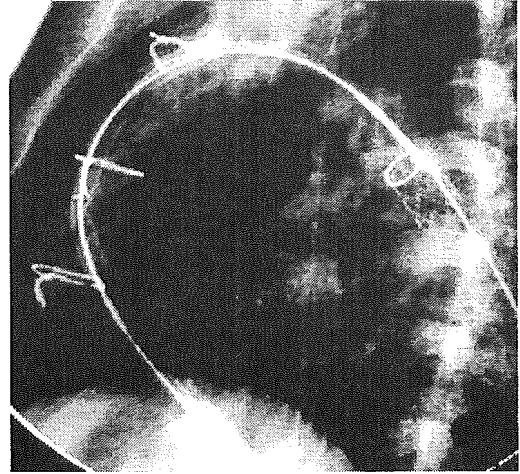
側面

図7

5. ステントを把持した状態から、グースネックワイヤーを引き、スネアーカテーテル押すという操作により、リング径すなわちステントの径を小さくする事を、場所を変え繰り返し試みた。図8。



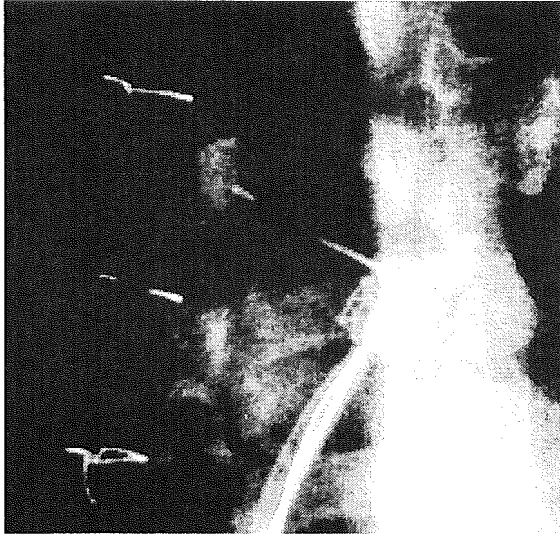
正面



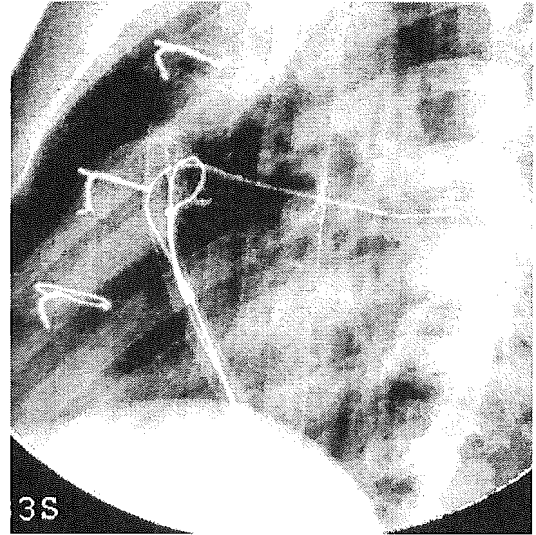
側面

図8

6. ステントの遠位端は思うような小さな形状には成らなかったが、ステントの近位端はロングシース内に収納することが出来たと判断されたため、肺動脈内より、右室、右房、下大静脈へと、把持したステントを移動させた。肺動脈末梢に留置したワイヤーは、留置状態のままにする事を試みたが不可能で、ステント、ロングシース、スネアーカテ、グースネックワイヤーと一体にして、移動せざるを得なかった。大腿静脈部まで、途中、引っかかり等は生じなかった。図9



正面



側面

図9

7.ステント、スネアーワイヤー及びロングシースを、一体として注意深く、大腿静脈部まで引いたが、その部分で抵抗があり、一塊となったステントをショートシース内に引き込むことは困難であった。X線透視にて観察するに、一塊となったステントの一部が突き出した状態になり、ショートシースの先端に引っ掛かり抵抗になっていると思われた。図10





図10

そこで、一旦、外側のショートシースのみを引き抜き、体外にてロングシースの周囲を覆った状態ではあるが、ロングシースを傷つけないように注意しながら、ショートシースの先端にも縦 2cm程度の割を入れた。その後再び体内にショートシースを挿入したが、その時、ショートシースがステントの突出部をカバーするよう操作した。確実なカバーが確認できた後は、力を入れてショートシースを押し込んだ。この操作により、ステント塊をさらに圧迫し縮小出来たと思われ、ショートシースおよびロングシースを一体とし、ステントを体外に回収することが可能となった。

## 8. 大腿静脈部での回収の状況(予想)

図11 実際に使用した、ショートシースとロングシースと回収されたステントによる状態予想写真。

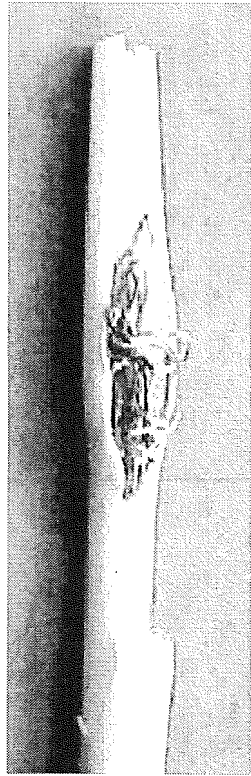


図11-A

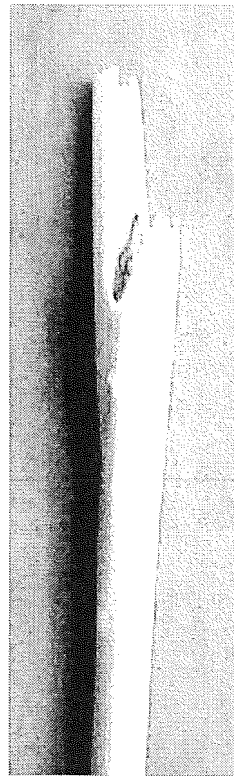


図11-B

図11-A (予想図) ロングシースからステント塊は一部突出した状態であり、このためショートシース内にステント塊の回収が困難だったと思われる。

図11-B (予想図) 外側のショートシースの先端にも割を入れ、突出した部分を覆うように操作し、その後外側のショートシースを力を加え押し込んだ。

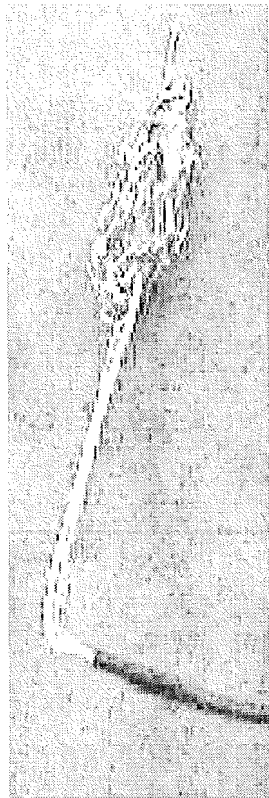


図11-C

図11-C (予想図)回収されたステントの状態

ステントの突出は、外側から進めたショートシースによって押しつぶされ、ショートシース内に回収できたものと思われる。

## (体外検証実験)

二本のシースの先端に割を入れ、向かい合わせることにより、ステントの突出を押しつぶす事が可能になったと思われた。従って、上記経験に基づき、脱落・迷入ステントの、より安全で容易な回収方法を考案することを目的に、体外で回収方法についての検証を行った。

### 「使用器具」

PALMAZ ステント 3008 (長さ 30mm、バルーンにより径を 12mm に拡大)

グースネックワイアー ring 径 15mm

スネアーカテーテル

super stiff wire

ロングシース 11F 13F

### 「検証事項 1」

ステント径の縮小する機序について

ステントを経皮的に回収するためには、体内で一旦拡張されたステントを縮めて径を小さくすることが不可欠となる。今回、コイルや異物の回収に使用するグースネックワイアーにて、回収が可能であったが、グースネック