

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いる。わが国でも多くの小児循環器専門施設でカテーテル治療としてバルーン拡大術およびステント留置が選択されるようになってきた。この二者間では、バルーン拡大術が第一義的な狭窄解除法として通常選択される。バルーン拡大術に際しては、手技的には使用されるカテーテルやガイドワイヤーなどのデバイスの属性により病変到達性や拡張効果に差異が生じる。また、病変そのものも孤発性のもの、手術後のものそれぞれにおいて血管構造にみられる病理学的な背景が異なっている。また、小児疾患に特有の発育に伴う変化による修飾も加わる。このような諸要素の中でどのような要素が狭窄病変の拡張性に大きく関与しているかを単一施設症例での連続症例から解析することにより明らかにした。末梢性肺動脈狭窄に対するバルーン拡大術の効果が乏しい場合には、ステント留置が有効な拡張手段となる。ステント留置は手技の難易度が高く、狭窄部病変の最小径、狭窄遠位部径、狭窄部長、狭窄部から遠位および近位に分枝している側枝の分岐状況などの解剖学的情報を把握し、適切なデバイス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。経胸壁心エコー図検査ではエコー窓の制限があり、狭窄部の状態を正確に評価することは容易ではない。血管造影法は正確な径情報をえることができるが、放射線被曝をとまなう心カテーテル法とい

う侵襲度の高い検査の延長にあること、血管の射影情報しか得られないことなどの問題点がある。

このような問題点に対して、新しい画像診断モダリティとして、X線CTによる肺動脈形態の三次元画像構築を行い、カテーテル治療に必要な解剖学的情報をどの程度正確に把握できるかを評価した。

カテーテル診断および治療に際して血管内心エコー法を行う場合、同時に心電図同期自動 pull back システムを用いた on line 自動三次元血管画像構築を行うことが可能であり、リアルタイムに末梢性血管狭窄病変の解剖学的情報をえることができる。この方法により、第二の画像診断モダリティとしての血管内心エコー法による血管の三次元構築の有用性について評価した。

このように過去の症例からえられる肺動脈狭窄病変の拡張性に寄与する要素を明らかにすること、それに加えて新たなモダリティの有用性の評価から、正確な診断をえることから、最終的にカテーテル治療の有効性と安全性を高めることを研究の目的とした。

B. 研究方法

研究1

国立成育医療センター（および統合元施設である旧国立小児病院）で1989/4/19 から行われた末梢性肺動脈狭窄症に対するバルーン拡大術の全症例をカテーテル記録から抽出し、匿名化措置を経た後に症例の基礎情報および臨床経過をデータベース化した。同

時にカテーテルによってえられた、解剖学的情報、生理学的情報、カテーテル実施時の記録からえられた手技上の問題点、合併症などの情報もデータベースに付加した。このデータベースからバルーン肺動脈拡大術の成功性に関与すると考えられる諸因子を抽出し、従来の成功性の指標との関連性について評価した。また、バルーンの対象症例を疾患背景、手術背景などの要素により数群に分別し、群間にみられる特徴や狭窄病変拡張性の差異について検討した。

研究2

X線CT三次元構築法、心エコー図検査、心カテーテル造影検査を行った末梢性肺動脈狭窄6例を対象に、各モダリティーによる情報取得可能性、定量性、質的差異について検討した。

1. X線CT三次元構築法：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

2. 心エコー図検査：同一患者群に対してATL HDI-5000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。造影後に2cmのグリッドで距離補正を行い、CT検査と同様のパラメーターを算出した。

各画像モダリティーによる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。

研究3

肺動脈狭窄症に対するカテーテルインターベンションを行い、同時に血管内心エコーカテーテルによる血管構造の評価を施行した症例2例を対象に、

①画像情報の再現性、②距離情報についての再現性を求めた。また、同時に施行した心カテーテル検査血管造影から血管分岐情報および狭窄部血管径、狭窄部分枝間距離などの情報について計測を行い、血管内心エコーカテーテル画像表示システムによる情報と比較検討した。

血管内エコー画像はTomtec社製心電図同期自動引き抜装置により単一ステップごとに取得され、on lineコンピューターにより任意断面の二次元画像および三次元画像に変換された。この画像からえられる距離情報をリアルタイムに手技にフィードバックするとともに、後の比較計測に用いた。

(倫理面の配慮)

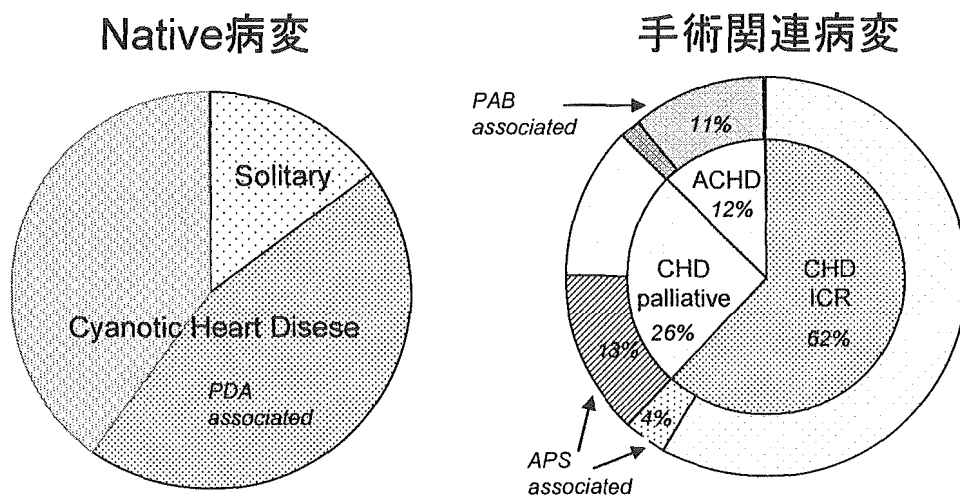
研究#2, #3については通常臨床評価の一環として施行された検査を用いた評価であった。検査の施行方法、目的については対象者家族に通常書式を用いながら説明を行った。本研究にデータを匿名化した後に使用する可能性があることについては、書面もしく

は口頭で了解を得た。研究 #1 については後方視的研究であり過去の症例を多数含むため、全家族に了解をえることは事実上不可能であった。実際には数値化データは匿名化されていることから、統計処理を経た後のデータ集合のみが扱われる場合には、倫理的な問題はないと考えた。症例経過のデータについては完全な匿名化を行うことを条件に画像使用の許諾をえた。

1989/4/19 から現在に至るまで末梢性肺動脈狭窄症に対するバルーン拡大術は総症例数 94、のべ 157 病変に対して施行されていた。チアノーゼ型心疾患の症例が全体の 87%と圧倒的に多数を占めており、特に PA+VSD 症例数は症例数の 28%、病変の 31%を占めていた。

native な狭窄病変は 20 病変にみられた。この中で 17 例が先天性心疾患に

狭窄病変の背景



CHD: cyanotic heart disease, ACHD: acyanotic heart disease, APS: aorto-pulmonary shunt, PAB: pulmonary areterial bunding

Native病変	合併疾患なし	3病変	(Wegener肉芽腫症合併例1例)
	チアノーゼ型心疾患合併例 (姑息術後例)	17病変	(ductusが明らかに関与している病変9)
術後病変	チアノーゼ型心疾患根治手術後例	85病変	(APS関連病変5例)
	チアノーゼ型心疾患姑息手術後例	35病変	(APS関連病変18)
	非チアノーゼ型心疾患根治手術後例	17病変	(PAB関与病変15)

C. 研究結果

バルーン肺動脈拡大術における拡張性を規定する因子についての研究

(1) 患者背景

合併した病変であり、動脈管近傍部に狭窄をきたしたと考えられる病変が 9 病変と半数以上をしめていた。孤発性の病変は 3 病変で異なる病理背景を持っていた。

対象症例（疾患別）

	症例数	病変数	多病変拡張例
#1チアノーゼ型心疾患			
TOF	25	41	(8回)
PA with VSD	26	49	(6回)
SV with PA or PS	15	22	(2回)
TGA	5	13	(2回)
DORV with PS or PA	6	10	(3回)
#2非チアノーゼ性心疾患	12	17	(5回)

手術関連病変は 137 病変であった。この中で、根治手術前（姑息手術後）に拡張を行ったのは 35 病変であり、体肺短絡に関連した狭窄病変が 18 病変を占めていた。根治手術後にバルーン拡大術を施行した病変は 102 病変であり、チアノーゼ型心疾患の根治手術後に合併した狭窄病変が 85 例と多数をしめていた。非チアノーゼ型心疾患の術後の肺動脈狭窄は肺動脈絞扼術（PAB）により惹起されたものが 17 病変中 15 病変とほとんどを占めていた。

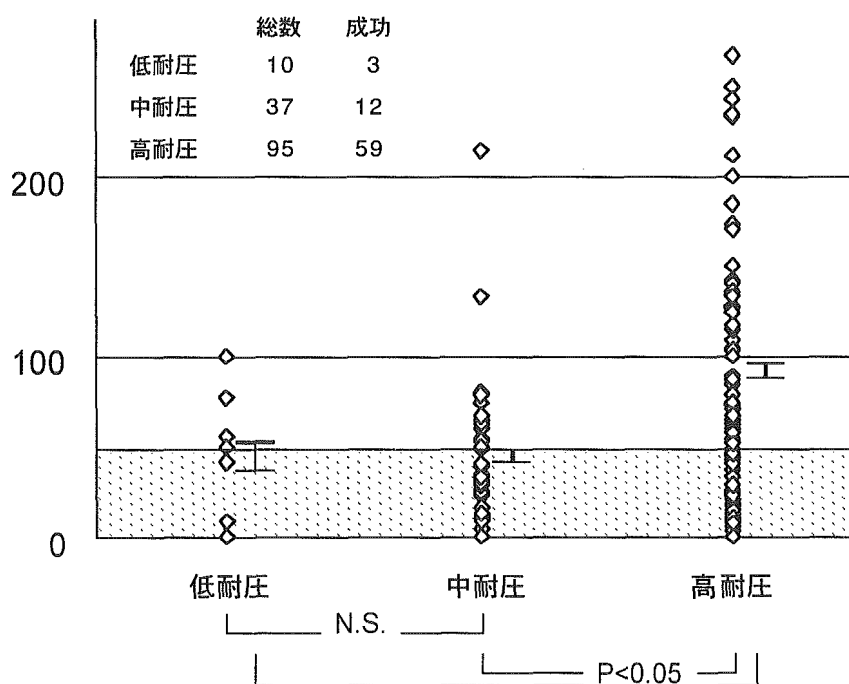
(2) バルーン拡大術の成功性に関する要因について

経皮的バルーン拡大術の成功性を狭窄病変部の 50%以上の拡張がえられたものと定義した場合、拡張の成功性に寄与する要因について検討した。

① バルーンカテーテルの耐圧性と拡張成功性について

使用バルーンカテーテルを低耐圧（7気圧以下）、中耐圧（8-11気圧）、高耐圧（12気圧以上）に分類し、それぞれ群の拡張成功性について検討した。低

高耐圧バルーン使用例は低耐圧、中耐圧よりも高い拡張効果がえられた

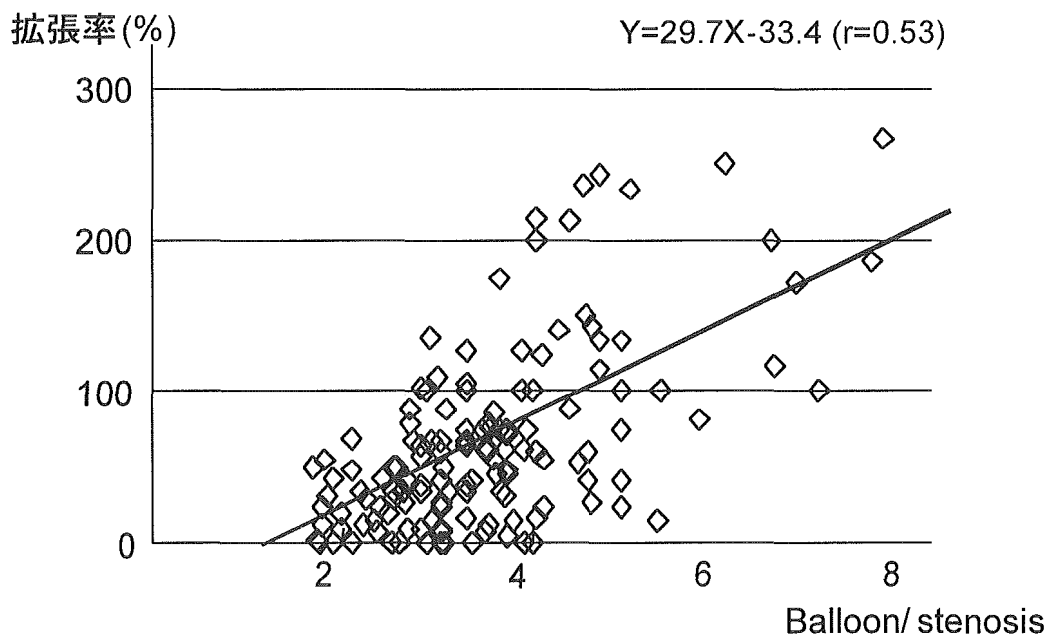


耐圧および中耐圧で拡張を施行した症例では、高耐圧バルーンを使用した場合に比し有意に拡張性に劣っていた。

バルーン径と狭窄部との比すべての拡張症例についてバルーン狭窄部径比と拡張性との相関の有無について検討したが、バルーン狭窄部比と拡張性については弱い正の相関がみられるものの有意ではなかった。

バルーン径と狭窄部との比すべての拡張症例についてバルーン狭窄部径比と拡張性との相関の有無について検討したが、バルーン狭窄部比と拡張性については弱い正の相関がみられるものの有意ではなかった。

バルーン狭窄部比と拡張率の間には弱い正の相関がみられるものの有意なものではなかった。

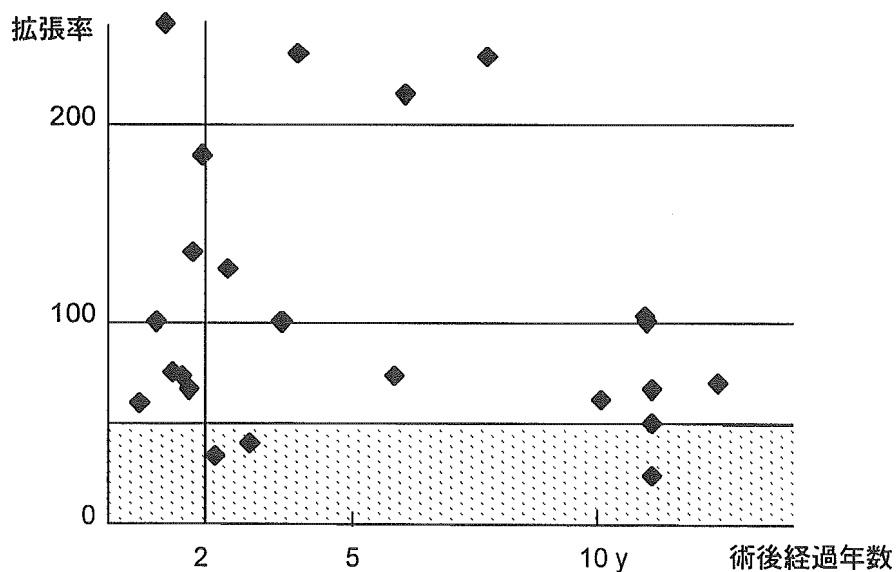
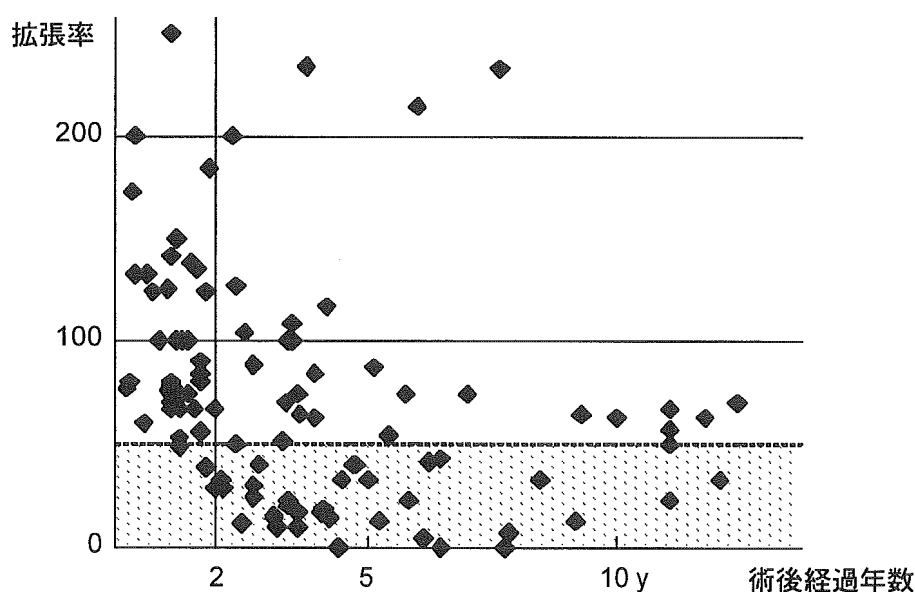


② 術後経過年数と拡張性について

肺動脈に対して手術操作を直接加えた症例の中で、手術部狭窄をきたした症例を抽出し、根治手術後手術部狭窄と姑息手術後手術部狭窄の二群に分別した。この二群で、病変に關与すると考

えられる手術からの術後経過年数と病変の拡張性について検討した。両群とも術後経過とともに病変の拡張率が低下する傾向がみられた。手術後2年未満での拡張性は手術後2年以降と比較し高い傾向を示した。

全症例群（上図）、姑息手術症例群（下図）ともに術後2年程度までに拡張性が高い症例が多くみられている。



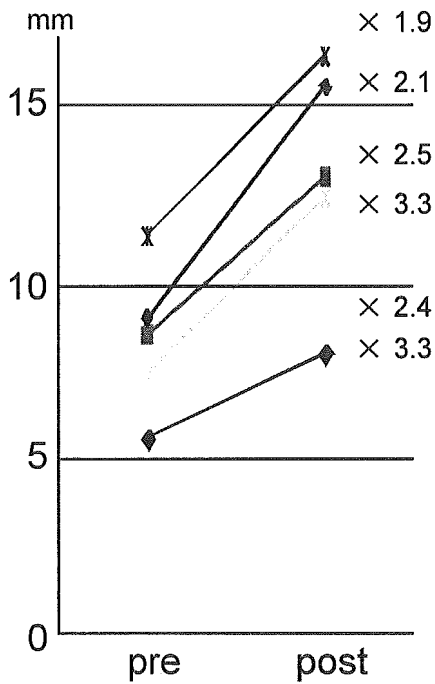
③ PAB 部位の拡張性

非チアノーゼ性心疾患群の 17 病変が肺動脈絞扼術 (PAB) に伴う肺動脈狭窄病変と考えられた。主肺動脈狭窄拡張では、肺動脈弁輪部に対する損傷を避けるため拡張用バルーンの最大径は

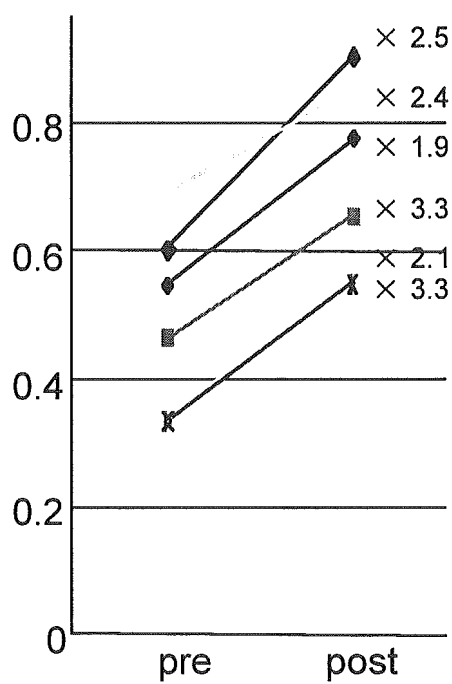
限定され、狭窄部径比は最大 3.3 にとどまった。この部位の拡張を行った 6 例で肺動脈狭窄径、狭窄部径/肺動脈弁輪部径、圧較差をプロットすると、全症例でバルーン拡大術の有効性が確認された。

PAB に起因する主肺動脈部分の狭窄は比較的小さいバルーンでも拡張効果がみられた。狭窄部絶対径、圧較差ともに拡張効果がみられている。

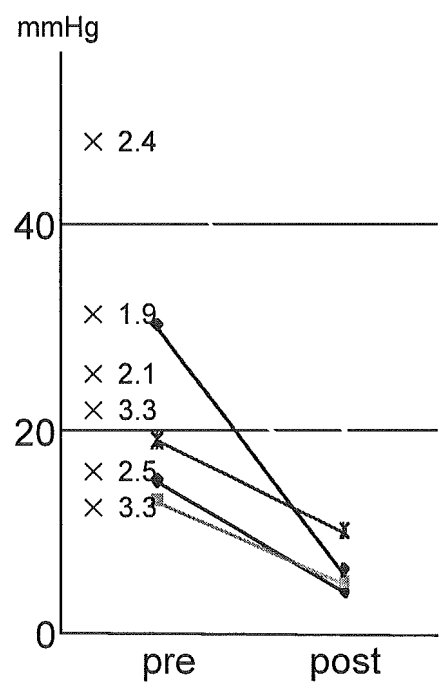
PAB部位狭窄部径



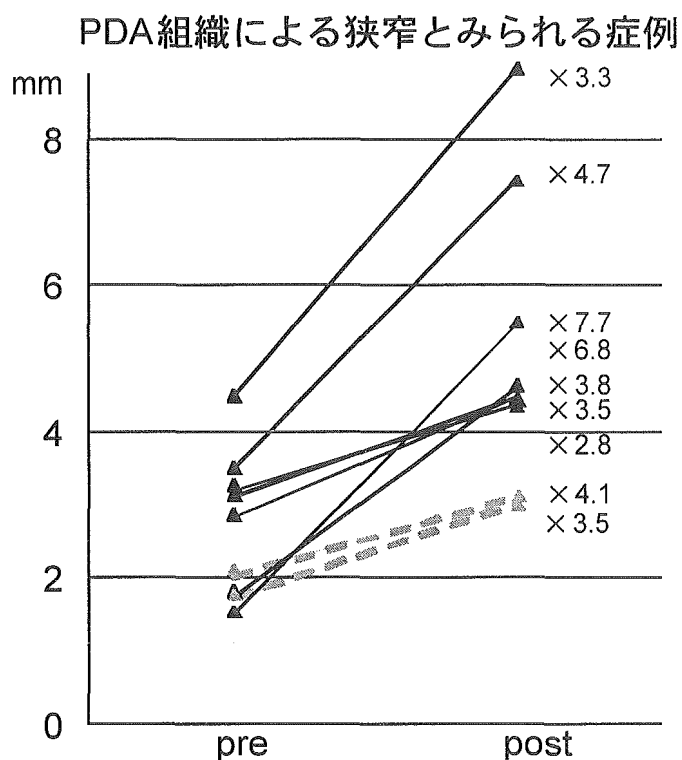
PAB狭窄径/弁輪径比



PAB部位圧較差

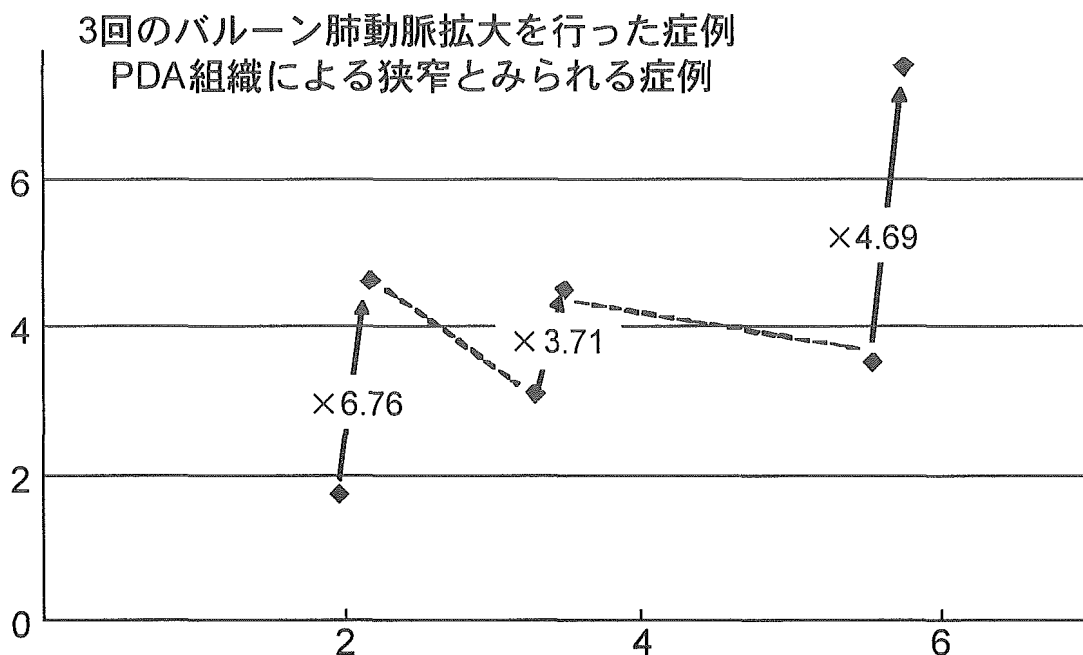


④ native な狭窄症例の拡張性
 native な狭窄の中で動脈管組織の迷入が強く疑われる 9 病変について検討したが、ほぼ全症例で急性期拡張効果がえられていた。
 PDA 関連狭窄の 1 例において経時的に計 3 回の肺動脈狭窄バルーン拡張術が施行されていた。急性期効果はあるが、1 年から 2 年の経過で再狭窄の進行がみられていた。再狭窄に対する再拡張効果は良好で、最終的に根治手術へ到達できていた。



PDA に関連する狭窄部位の急性期拡張効果は高かった。(右上図)

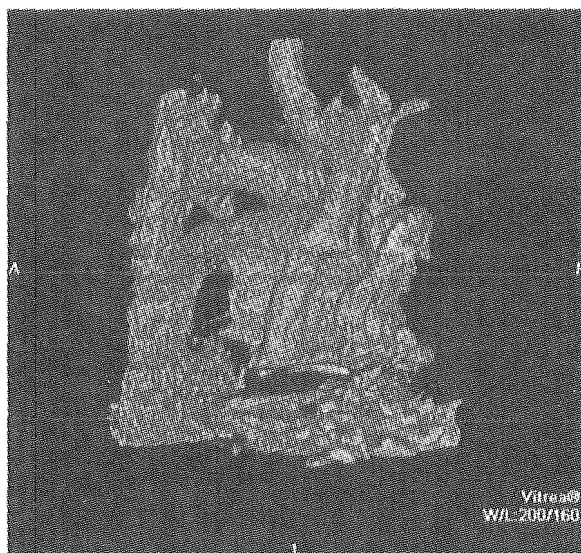
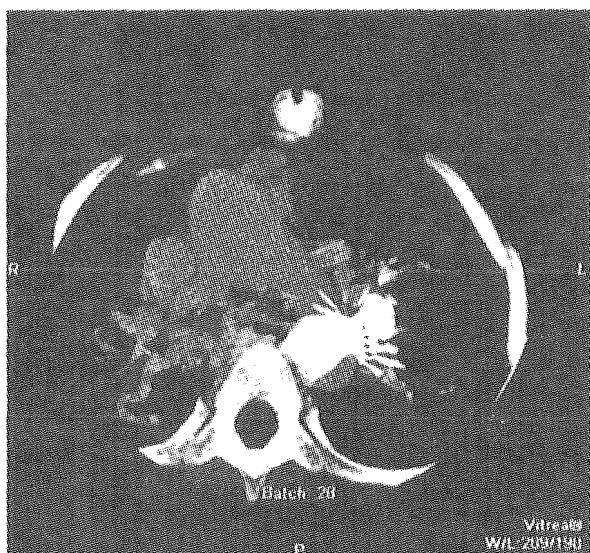
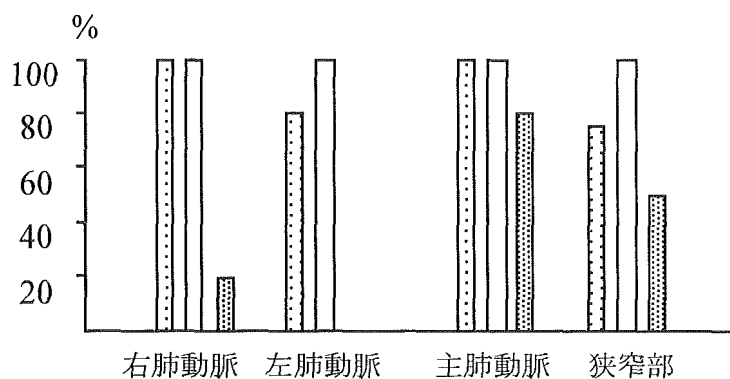
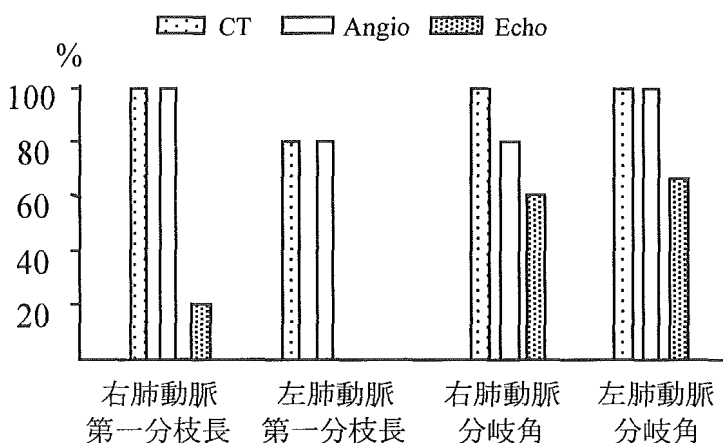
拡張症例で recoil が示されたが、拡張の反復で径を確保することが可能になった。(下図)



三次元 CT による肺動脈狭窄病変描出の有用性について

三次元 CT、心エコー図検査、心カテーテル造影検査の形態の描出性については、血管径の計測において三次元 CT と造影検査は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。特に左肺動脈第一分枝部の描出は困難であり、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。描出が不可能な症例は年齢が高い症例であった。三次元 CT 検査では金属製クリップによる artifact のため計測が不可能な症例があった。



心エコー図検査では左肺動脈末梢部の描出が十分にできていない。

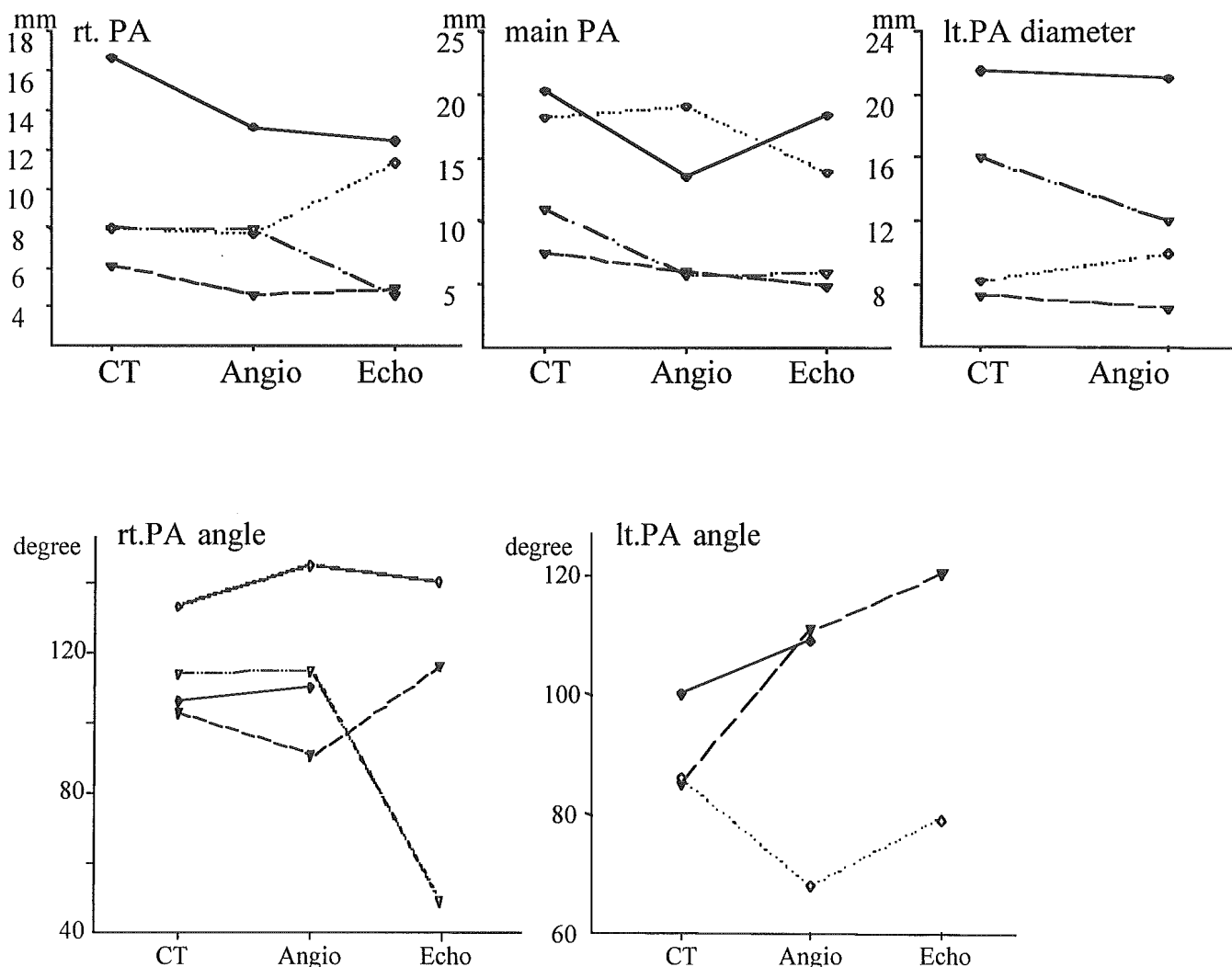
左 Blalock-Taussig 短絡の外科的閉鎖に際してステンレクリップが使用されたがこのため 2D 画像(右)に示すように artifact が生じている。三次元構築画像では矢印に示すように水平方向に画像が抜けてしまっている。

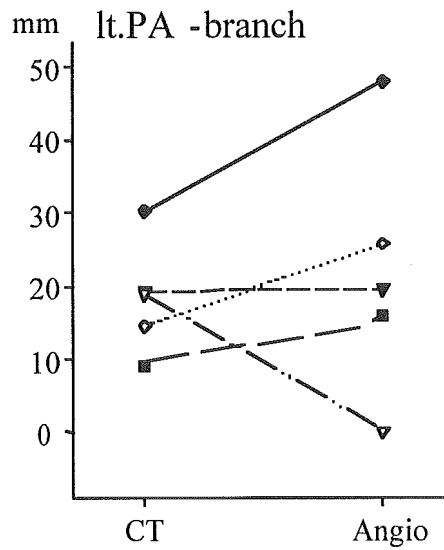
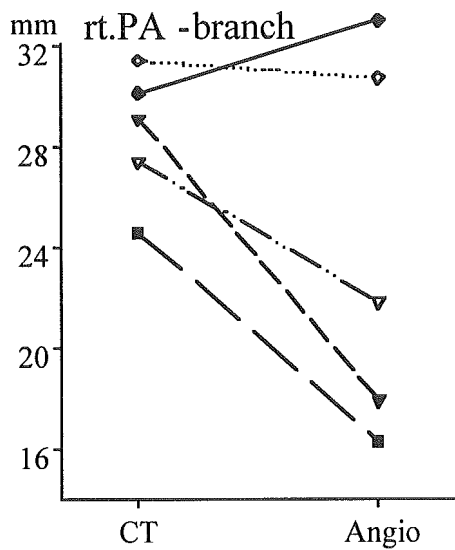
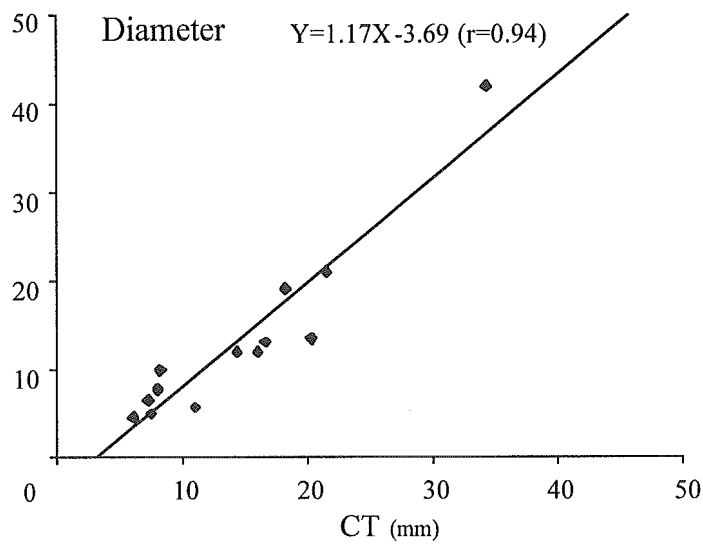
描出が可能であった病変を対象にし、三者の計測値の比較を行った。血管径は心エコー図検査では細めに評価される傾向を示した。三次元 CT と心カテーテル検査の比較ではいずれの部位においても明らかな差異はなく、この二者の計測値は良好な相関を示した。左肺動脈分枝までの距離には、三次元 CT と心カテーテル検査の間で有意な差は

みられなかったが、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。左右肺動脈分岐角は各モダリティの間で差が大きく一定の傾向を示さなかった。心エコーや造影検査で検出が困難な病変を三次元 CT によって初めて直観的に把握できる症例がみられた。

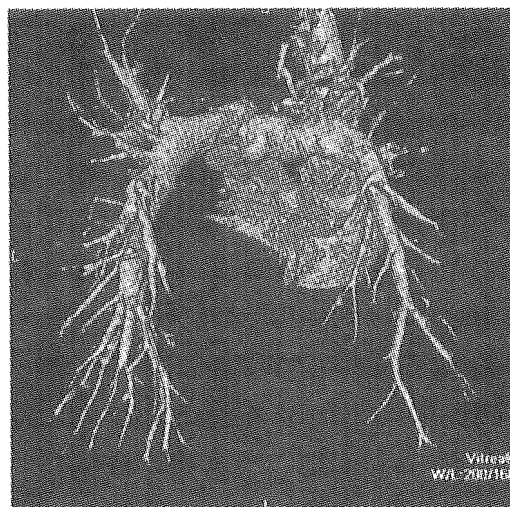
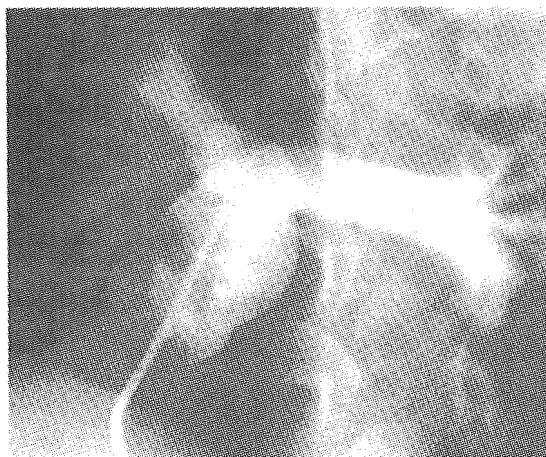
撮影角度の問題から右肺動脈第一分枝長は血管造影法で短く評価された。左肺動脈はほぼ同等の評価となった。分岐角度は各モダリティでかなりの差を認めた。

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





右肺動脈起始部動脈瘤



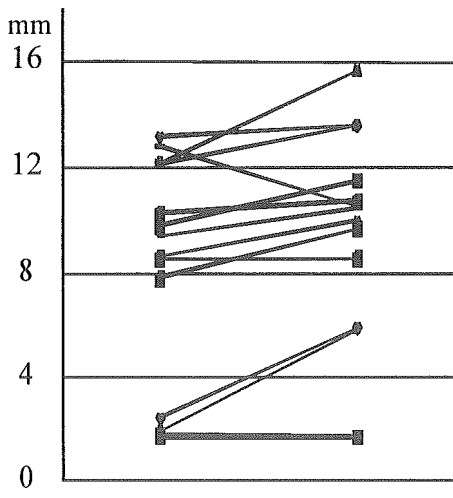
血管造影では形態が十分把握できない動脈瘤が三次元 CT では明瞭に描出されている。

血管内エコーカテーテルによる血管三次元構築の有用性について
 複数箇所での計測値を二回の画像取得に際して比較したが、図のように血管方

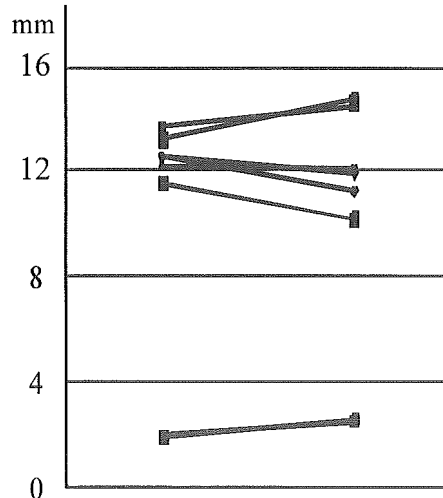
向にほぼ相当するカテーテル長軸方向、血管径に相当するカテーテル短軸方向の数値には大きな差異がなく、再現性は良好であると考えられた。

計測値の再現性 (2回の計測について比較)

カテーテル軸方向



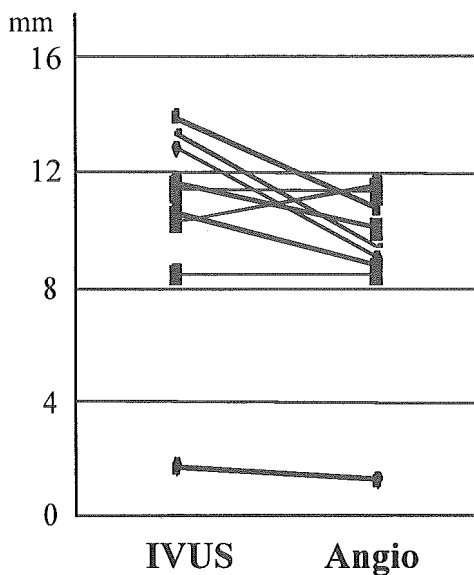
カテーテル軸直交方向



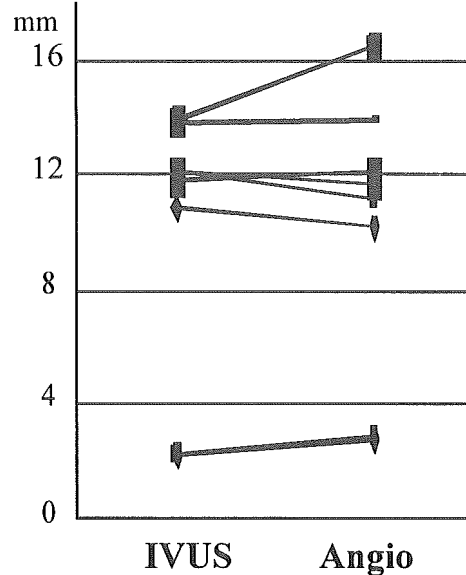
種々の部位での計測値を長軸、短軸方向の両方で比較したが、再現性は良好である。

血管造影計測との比較

カテーテル軸方向



カテーテル軸直交方向

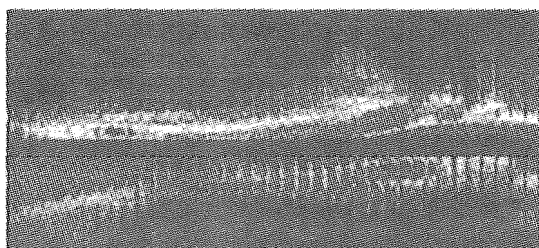


血管造影での計測値との比較では、カテーテル長軸方向の計測値が血管造影よりやや長めに評価される傾向がある。

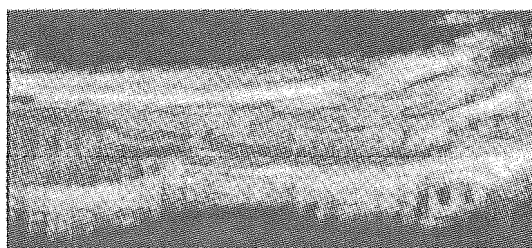
血管内エコーカテーテル引き抜きシステムによる計測と血管造影による計測とでカテーテル軸方向（血管長軸方向）の計測値を比較すると、血管内エコーによる計測値が血管造影の計測値を上回る傾向が示された。一方、カテーテル短軸方向の計測値については両者の間に明らかな差異はみとめられなかった。

左鎖骨下動脈近位部狭窄を有する 1 症例では狭窄部から第一分枝に相当する椎骨動脈起始部までの距離を明確に計測することが可能であり、三次元画像により椎骨動脈起始部が鎖骨下動脈からなだらかに分岐する状態がきれいに描出された。血管造影から予想された分岐角度とはかなり異なっており、三次元 CT 画像と合致する所見であった。

a. SCA 起始部長軸二次元画像



b. SCA 起始部長軸 三次元画像



c. 血管造影 SCA-椎骨動脈画像



d. SCA-椎骨動脈起始部 三次元 CT 画像



三次元画像再構成 (a,b) で椎骨動脈の鎖骨下動脈からのなだらかな分岐が描出される。血管造影 (c) で予想された分岐角度とはかなり異なり、三次元 CT 画像所見 (d) と合致する。

D. 考察

先天性心疾患には種々の血管性病変が合併する。その中でも先天性心疾患に高率に合併する血管異常として、主肺動脈-左右肺動脈分岐部狭窄および左右肺動脈分岐部より末梢の末梢性肺動脈狭窄がしばしば観察される。末梢性肺動脈狭窄は、肺血流量減少性先天性心疾患である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。末梢性肺動脈狭窄は通常の直列循環動態の場合、肺循環に直列する心室の圧負荷をきたし、高度の場合右心不全症状をきたしうる。また左右肺動脈の血流量の著しい差をもたらしうることから換気血流比の不均衡を招き、労作時の易疲労性を増加させる。このように、単一疾患としても患者の morbidity および mortality に影響を与えるが、それらが合併する先天性心疾患の根治性に対しても著しく影響を与える。

心内修復手術を受けている場合、手術にともなう心筋の潜在的侵襲から圧負荷による心不全症状が惹起されやすい。このため、有意な肺動脈狭窄は術後可能なかぎり早期に解除することが望ましい。特に、今回の検討では、TOF, PA+VSD, TGA 症例での術後肺動脈狭窄の有病率が著しく高く、積極的な肺動脈形態および血行動態の評価が必要と考えられた。

手術後の時間経過と狭窄病変の拡張性を評価した結果、術後比較的早期、特に術後2年以内での拡張性がより高い可能性が示された。このことは、術後早期の末梢肺動脈形態、血行動態を評

価し、カテーテル治療の適応の有無を判断する必要があることを示唆している。

姑息手術、特に BT 短絡などの体肺短絡を施行されている場合、末梢性肺動脈狭窄が存在すると病変側の肺血流量が阻害され、病変側の肺動脈の発育不良が生じる。BT 短絡を必要とする疾患は、肺動脈の発育の程度が根治手術の可能性を規定する。このため、根治手術後の症例に比してさらに厳密な管理が必要である。症例の後方視的検討では姑息手術後に末梢性肺動脈狭窄に対するバルーン拡大術を施行した群は低年齢であり狭窄病変部の径は有意に小さかった。姑息手術後の末梢性肺動脈狭窄の場合、体肺短絡を通して拡張を行う場合も多く、使用できるバルーン径の最大値は小さかったが、一般に前述のように狭窄部病変径が小さいことから十分なバルーン比を保つことができ、拡張効果は十分にあると考えられた。また、体肺短絡術に関連すると考えられる病変についても、根治手術後症例と同様に術後経過と拡張性についての関連が認められ、すべての症例でバルーン拡大術を施行できる訳ではないものの、早期の評価と拡張による拡張効果の増大が期待できる。

Native な病変では全身疾患に合併した孤発性症例では拡大が困難であったのは疾患固有の病変の病理構造が原因と考えられた。これについては同一疾患での症例を積み重ねることで、バルーン拡大術の適応の有無を決定していくことが必要である。先天性心疾患に合

併している症例の狭窄拡張性は比較的良好であった。PDA 組織の関与が明らかな症例が半数にみられおり、他の症例についても PDA 組織の関与が否定できなかった。このことから、先天性心疾患に合併する PDA 組織の関与により生じた狭窄病変については拡張可能性が高いと考えられる。一方、PDA 組織が関与した病変は拡張後 recoil する傾向が顕著であり、頻回の拡張を要する可能性がある。症例経過が示唆するように、この群では拡張後に recoil がみられる可能性を考慮し、頻回の血行動態の評価、画像評価が必要であると考えられる。

非チアノーゼ性心疾患根治手術後例での末梢性肺動脈狭窄のほとんどは肺動脈絞扼術 (PAB) にともなう主肺動脈狭窄および左右肺動脈分岐部脈狭窄であり、先行した PAB は肺動脈病変を高率に残すことを示唆している。左右分岐部狭窄については通常の方法で拡大できるが、主肺動脈部狭窄 (PAB 解除部) の拡張では、肺動脈弁輪部にバルーンカテーテルがかかるためにバルーンの最大径が限定されてしまう。しかしながら、拡張性および圧較差の減少からは十分な効果がえられていた。PAB 部位の拡張ではこの部位の特徴から比較的小さい径のバルーンでも拡張効果があることが予想され、バルーン拡大を積極的に施行する意義があると考えられる。

末梢性肺動脈狭窄に対してバルーン拡大術をとる場合の手技上の問題として、バルーン耐圧性と拡張性との関連が示

された。従来から言われているように低耐圧バルーンを用いた症例では拡張性が悪く、8-11 気圧の中耐圧バルーンでの拡張性も高耐圧バルーンに比して悪かった。現在低耐圧バルーンを使用する症例は、高耐圧バルーン使用後の後拡張に用いる場合だが、効果は限定的であることが予想された。中耐圧バルーンはやや径の大きい (参照血管との差が少ない) 狭窄病変に用いられることが多く、バルーン/狭窄部径比が十分にとれないこと、このような病変の病理的な背景が異なっている可能性があることなどが拡張性に劣る要因である可能性がある。バルーン/狭窄部径比と拡張性については弱い相関がみられるものの、通常使用される 3-5 倍径のバルーンについては明らかな差はみられなかった。このことは通常の大径をとる場合、径を大きくしても必ずしも拡張効果が増す訳ではないことを示している。拡張効果は血管壁に生じる病理変化に関連していることが考えられ、拡張効果、特にその持続性については病理変化を把握することが重要であると考えられる。病理変化が生じていることは通常の造影検査で軽度の血管壁の断裂や動脈瘤の描出によって確認されることがあるが、造影条件などにより必ずしも描出できるわけではない。血管壁の病理変化を鋭敏に描出できるのは血管内エコーであり、拡張効果の評価を目的に積極的に血管内エコーを施行する必要があると考えられる。

血管内エコーは径の大きい血管病変に

対しては超音波の到達度の限界から描出が困難である欠点がある。しかし、小児の場合狭窄部の径が小さいことから評価が可能である場合も多い。カテーテル治療に際しては病理変化を把握ことのみならず、Auto pull back を用いた血管内心エコーカテーテル画像表示システムによる三次元画像構築を行うことにより、肺動脈狭窄周囲の解剖学的条件を把握することが可能となる。本研究で示されたように、血管内エコー三次元画像構築のカテーテル長軸方向における距離情報の再現性はかなり良好であった。また、標準計測法として行われる血管造影に基づく距離計測に比して、大きい計測値を示した。カテーテル長軸方向の距離は純粹に引き抜きデバイスの作動によって決定されており、この部分での誤差は生じにくいと考え、この差異は主として血管造影法による血管分枝距離が造影角度によって短縮されていることによって生じたと考えられる。つまり、Auto pull back を用いた血管内心エコーカテーテル画像表示システムがより正確な距離情報を示している可能性がある。バルーン拡大術による効果が低い場合血管内ステント留置を選択しなければならない症例があるが、これに際して末梢分枝までの距離を計測する上で、血管内心エコーカテーテル三次元画像構築は十分に有用でありうるということが考えられる。また、今回使用したシステムでは、on line で任意の 2D 断面をえることに必要な解析時間は非常に短く、同時に進行しているカテーテル手技への

feed back が迅速であった。これにより、カテーテルインターベンションの治療方針の real time の変更も可能であると考えられた。

血管内心エコーカテーテル画像表示システムによる三次元画像構築には以下の問題点がある。①屈曲性の高い病変では挿入が困難な場合が想定されること、②二か所以上の屈曲を持つ場合には機械的にカテーテルを定規格で回転させることが不可能な場合があること、③使用可能な周波数の下限から 10mm を超えるような大口径の血管では超音波が減衰し、主肺動脈にまたがって存在するような狭窄病変の描出が困難であること、④カテーテルの引き抜きに際して、すべり抵抗にともなうカテーテル距離の periodicity が起こりえるため、画像の歪曲が生じる可能性があること、⑤プローブに対して直交する断面でのみ観察を行うため、血管の長軸とカテーテルの長軸が平行でない血管の屈曲部などでは、計測している断面が最小のものであることは保証できないこと、⑥血流によるカテーテルの振動性の動きが径の大きい部位で生じ、画像の歪曲に通じる可能性があること。これに対しては、屈曲性の比較的高い病変についてカーブに沿った形にあらかじめ形成されたロングシースを用いることによって到達性を上昇させる可能性がある。超音波到達深度については工学的により低い周波数で深い到達距離がえられる血管内心エコーカテーテルの開発、使用が考えられる。軸のずれに基づく画像の歪曲については、

このシステムでは回避できない問題とはなるが、長軸方向での距離情報についての誤差は前述のように大きくないと考えられ、分枝間の距離を測定するという目的については十分に使用が可能であると考えられる。

さて、カテーテル治療に際しては、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、末梢性肺動脈狭窄の場合、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。造影検査は直接血管の内腔を描出することから、計測に適しているが、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、正確な情報が得にくくなる難点がある。カテーテル治療に先だって、診断目的のみでカテーテル検査を施行する事は、コストや被治療者の負担の点から難がある。したがって、カテーテル治療時に造影を行い、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。

今回の評価では、血管造影と三次元 CT 検査の間の血管径計測値はよい相関を示し、いずれの方法も血管径計測には適していることが示された。血管長の計測では、血管造影では撮像角度によって短く評価されることがあった。肺動脈狭窄病変では既知の形態をとらず、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。血管長はバルーン拡大術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り、三次元 CT 検査に基づく計測が有利である可能性を示している。

三次元 CT 検査の問題点としては以下があげられる。① **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。

E. 結論

動脈管に関連した狭窄病変の高拡張性にみられるように、肺動脈狭窄病変の拡張可能性は病変の病理的背景に依存していると考えられる。動脈管関連狭窄病変では、拡張の可否がその後の手術方針に大きな影響を与えるため、積極的に拡張することが望ましい。一方、recoilしやすいことから頻回の血行動態評価を行い、再狭窄に対しても積極的に拡張を繰り返さなければならない。術後狭窄病変については、根治手術後、姑息手術後とも術後比較的早期に狭窄を拡張すると拡張効果が高いことが示される。このことから、末梢性肺動脈狭窄症例では、カテーテル治療による拡張の時期を逃さないように、術前および術後の血行動態や形態評価について経時的な綿密な評価を計画しなければならない。

一方、肺動脈狭窄は臨床症状がとらえにくい病変であり、心エコーでも年長児や術後症例、末梢部病変などで描出

が困難な場合が多い。従って、心エコーによる病変の検出から心カテーテル検査にいたるという流れでは、適切な評価を施行することが困難である場合もある。血行動態における血流シンチグラムの積極的使用、解剖学的病変について今回有効性が示された三次元 CT や MRI を積極的に使用することなど他のモダリティを併用することが積極的な治療に結びつくものと考えられる。

F. 学会発表

第 15 回日本 Pediatric Interventinal Cardiology 研究会 (2005 名古屋)

血管狭窄に対するカテーテル治療における血管内エコー (IVUS) による血管三次元構築の有用性についての検討

国立成育医療センター循環器科

磯田貴義、百々秀心、金子正英、三平元、山口佳代、豊田、横山晶一郎、石澤瞭

第 40 回日本小児循環器学会総会・学術集会 (2004 東京)

末梢性肺動脈狭窄に対するカテーテル治療における三次元 CT 画像情報の有用性

国立成育医療センター循環器科

磯田貴義、百々秀心、金子正英、平田陽一郎、三平元、豊田彰史、山口佳代、石澤瞭

研究協力者

磯田貴義 (国立成育医療センター循環器科)

厚生労働科学研究費補助金
(効果的医療技術の確立推進臨床研究事業・小児疾患臨床研究事業)
分担研究報告書

脱落・迷入 Palmatz large stent の対処方法について
————— 経験と体外実験による検討

分担研究者 黒江 兼司 葉山ハートセンター 副院長
 佃 和弥 兵庫県立こども病院 循環器科医師

(目的)

脱落・迷入ステントのより安全で容易な対処方法の基準を考案すること。

(はじめに)

現在小児領域にて施行されている肺動脈等へのステント留置術は、小児の特性として、将来、血管径の成長・増大が予期されるため、幼少時であっても、大きな径に再拡張が可能な、大口径のステント (Palmatzs stent : large type) が選択される。従って、意図した留置場所から脱落が生じたり、他の部位に迷入した場合、経皮的回収には非常に困難を要する。また、小児ではステント自体の留置数が少ない上に、脱落の経験はさらに少なく、従って、対処方法に推奨できる確定的な方法は未だ無かった。我々も脱落を経験したのは2例であり、経験は多いと言えず、最初の脱落例では単弁の人工肺動脈弁に影響を与えていた為、数日後に検討の末、外科的に開心術を施行し回収する事になったが、二度目の脱落の際には幸いにも経皮的に回収が施行できた。その後、体外実験を繰り返し回収手技を考案していた。その折、他院でステント脱落の症例が生じ、電話、電子メール、FAX 等を用い、互いに情報をやり取りし、遠隔地にあっても無事にステントが回収出来た事もあり、確立できた手技であるとの確信を持つに至った。従って、今回、経験と検証、それに、脱落予防としての注意点に加え、他院での経験も問い合わせたので、それらもまとめ、分担研究の報告とする。

(A. 脱落・迷入ステント経皮的回収の経験)

「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、6才11ヶ月（心内修復後1年8ヶ月、バルーン拡張術後5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。

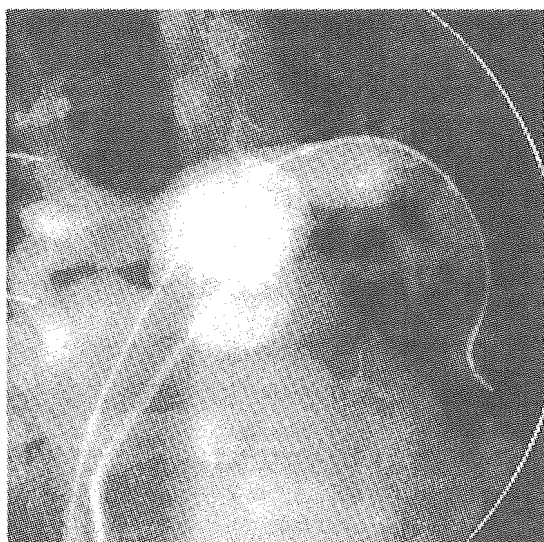


図1. 肺動脈造影 正面像

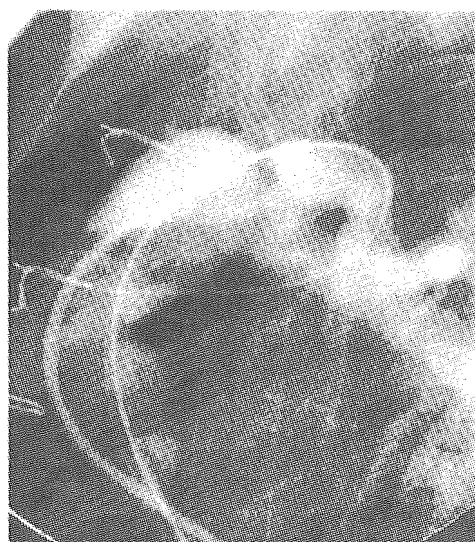
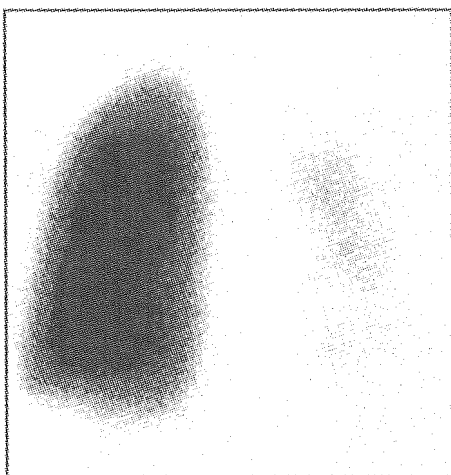


図2. 肺動脈造影 側面像



「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。