

< Editorial comment >

血管内エコーによる小児の肺動脈の評価

徳島大学医学部小児科 森 一博

心血管造影は心血管腔のシルエットを評価する診断法である。一方、血管内エコー(intravascular ultrasound = IVUS)は血管の病変を内腔から直接観察する診断法で、主に成人の冠動脈病変で利用されてきた。最近では、バルーンカテーテル治療の評価の目的で小児科領域でも使用されるようになった。本稿では、小児科領域における肺動脈のIVUSの有用性を中心に概説する。

IVUS カテーテルの現状¹⁾

IVUSにはmechanical式(機械走査式)とphased array式(電子走査式)の2種類がある。前者は一つのトランスデューサーが高速回転しながら超音波を発信する方式である。後者では複数(64素子)のトランスデューサーがカテーテルの周囲に付いており、各トランスデューサーから順番に超音波が発信される。

mechanical式ではIVUSカテーテルを覆う保護シースを装着して使用する。IVUSカテーテル自体の中にガイドワイヤーを挿入することは出来ず、モノレール方式を用いる(図1)。即ち、保護シースの先端から約1.5cmの間のみガイドワイヤーが内腔を通り、トランスデューサーはその尾側に位置する。従来はトランスデューサーを保護シース内で移動させることは出来なかったが(固定型)、最近では、保護シース(ポリエチレン製)の先端3cmから尾側15cmまでトランスデューサーの移動が可能となった。現在、Boston Scientific社製のIVUSカテーテルには7種類あるが、6F以上のものは固定型で、それよりサイズの小さいカテーテルでは移動可能である。

phased array方式(Endosonic社製)では、カテーテル中央部にガイドワイヤーを挿入して使用する。mechanical式に比して回転むらが少なく、大きく湾曲する血管には適しているが、カテーテル径は若干太めである。トランスデューサー自体はmechanical式の方が大きく、より強い超音波の発着信が可能のため、画質が良好である。そのため、小児科領域ではmechanical式がよく用いられている。

トランスデューサーの周波数は血管径に合わせて選択する必要がある。直径10mm以上の血管(成人の肺動脈分岐部径は約20mm)には20MHz、直径10mm以下の血管には30MHzのIVUSを使用するのが適当である。40MHzは直径5～6mmの血管に有用である。なお、解像度は3.2F、30MHzを用いた場合90～150μmである。

ロングシースの使用に関して

6F、20MHzのIVUSカテーテルには0.035インチのガイドワイヤーが通るため、ロングシースを使用しなくても、モノレール式に肺動脈までIVUSカテーテルを到達させることが可能である。しかし、肺動脈分岐部狭窄のある例では主肺動脈から左右肺動脈へIVUSカテーテルを進めることが困難な場合があり、豊野論文の方法は有用である²⁾。一旦ロングシースを挿入しておくと、以後、IVUSカテーテルからバルーンカテーテルへの変更が容易になる。更に、3.2F、20MHzのIVUSカテーテルでは0.018インチの腰の弱いガイドワイヤーしか使用出来ず、ロングシースを使用することで肺動脈への到達が容易となる。欠点としては、ロングシースで若干なりともエコーの減衰を生じることと、大腿部のシースが太くなる点が挙げられる。

IVUSの肺動脈への使用

1. 肺動脈の組織評価

肺動脈標本を水槽に漬けてIVUSを施行すると、実測の内腔および肺動脈壁厚はIVUS所見と一致する³⁾。しかし、実際には肺動脈の周囲には空気を含んだ肺組織が存在するため、外膜の同定は困難で、臨床上是内膜と

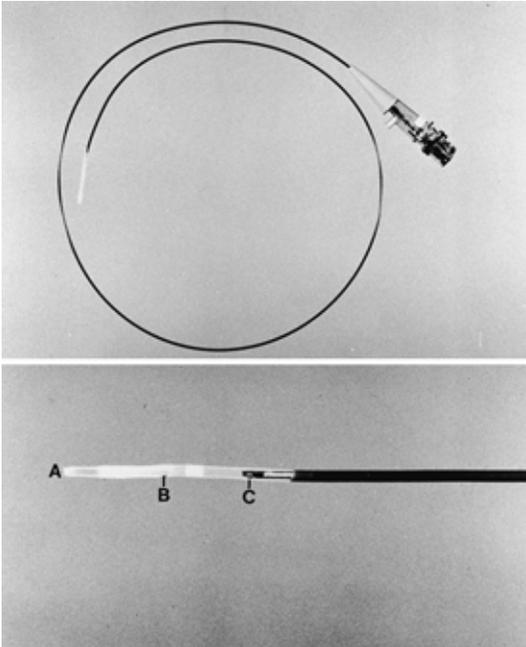


図1 IVUSの構造

上段：6 F, 20 MHzのIVUS.先端固定型で全長95 cm. 0.035インチのガイドワイヤーを使用するため,ガイドワイヤーを肺動脈に留置しておけば,それに沿わせてIVUSを移動させることが可能である(モノレール式).

下段：先端の拡大図. A(先端)からBまでがガイドワイヤーが通る腔, Cがトランスデューサーである.

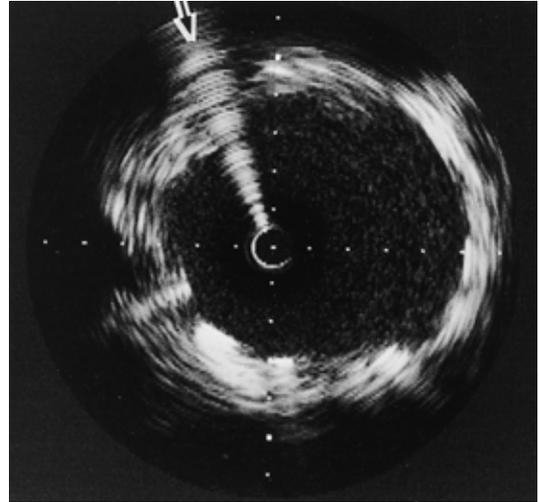


図2 肺動脈にステントを留置した症例のIVUS所見
ファロー四徴症術後の左肺動脈狭窄(直径3 mm)に対してPalmazステントを留置した13歳の女児例. IVUS(3.2 F, 30 MHz)により,病変部は直径7.4 mmまで円形に拡大されたことが判る.ステントのストラットが全周に観察される.矢印はガイドワイヤーのエコーである.

中膜をIVUSで観察することになる.

動脈は組織学的に弾性動脈と筋性動脈に分類される.弾性動脈は大動脈・肺動脈などで,筋性動脈(中膜に弾性線維を欠く)は腎動脈・腹腔動脈・主幹部以外の冠動脈などである.肺動脈は弾性動脈であり,中膜に弾性線維が豊富でそれによるエコー輝度上昇のため正常例では3層には見えない.一方,高度の肺高血圧症ではIVUSで血管壁が3層構造を呈する^{4)・7)}.Ishiiらは肺高血圧の病理標本のIVUS所見を検討し,Heath-Edwards IおよびII度では中膜の肥大を生じ(IVSU上は低輝度エコー域として認める),Heath-Edwards IIIおよびIVの高度肺高血圧では中膜肥厚に加えて内膜の肥厚を生じるとし(IVUS上は高輝度エコー域として認める),病理所見とIVUS所見が対応することを報告した⁴⁾.Ivyらは肺高血圧患者のカテーテル検査とIVUS所見を対比した⁵⁾.正常児では内膜が描出されないのに対して,肺高血圧症例では2/3の例で内膜(正確には内側高輝度エコー)を認め,その肥厚度は肺血管病変の程度と相関する.

病理所見の内膜が本当にIVUSの内側の高輝度エコー域に一致するかに関しては完全には解明されていない.筋性動脈で内膜を切除してもIVUSで内側高輝度エコーは残存することから,この高輝度エコーは内膜のみならず血液と動脈壁そのものとの間に生じる音響インピーダンスの差をも含んでいるとの指摘がある⁸⁾.血管壁の肥厚を検討する際には高輝度と低輝度エコー層を併せて測定した値(内中膜厚複合値)が再現性がよいとの意見もある.

肺高血圧症以外では,Williams症候群での検討が報告されている.それによると,狭窄を有する部位以外の肺動脈でも血管壁の肥厚を認め,血管内腔の狭小化をきたしている.中膜と考えられるエコー輝度の低い部位

が肥厚する場合と、弾性線維と考えられるエコー輝度の高い部位が肥厚する部位があり、IVUS 所見は均一ではない。病理学的にも本症候群の血管壁では中膜平滑筋細胞のみならず弾性線維の増殖が知られている⁹⁾。

2. カテーテル治療の評価

肺動脈狭窄のカテーテル治療の際、どの程度まで肺動脈を拡張してよいかの判断に IVUS は有用である。有効な拡張の得られた症例では、IVUS で内膜から中膜の亀裂または解離を認める¹⁰⁾。肺動脈内にステントを留置した症例では、ステントのストラットが高輝度の点として観察される(図2)。ステントで内腔が確保された肺動脈でも、数カ月でステントの内側に内膜が増殖し内腔狭窄を生じ場合があり、IVUS はそのような場合の評価も可能である。

肺動脈弁狭窄に対してバルーン肺動脈弁形成を試行し、低周波数の IVUS を用いて弁裂開の状態を観察した報告もある¹¹⁾。

3. 肺動脈の薬剤などに対する反応性

Berger らは左右短絡疾患に 100% 酸素を吸入し、IVUS を用いて肺動脈の拍動性を検討した¹²⁾。

拍動性 = $100 \times [\text{収縮期(最大)断面積} - \text{拡張期(最小)断面積}] / \text{拡張期断面積}$

で計算すると、酸素負荷により拍動性は 21% から 28% に増大したが、肺血管抵抗の高い症例では拍動性が低値であった。成人では心不全症例の肺動脈にドブタミンやニトログリセリンを投与し、その反応性から血管特性を検討した報告がある¹³⁾。小児科領域でも、トラゾリンなどの薬剤を投与して肺高血圧症例の肺動脈の反応性(血管壁弾性)を検討する際、IVUS は有用な検査法と考えられる。なお、内腔の変化率を見る場合、血管腔に垂直な断面を描出し、心拍動に伴うカテーテルの位置のずれがないことを確認する必要がある。

一方、肺高血圧症例で、一酸化窒素に対する肺動脈の反応性を IVUS での中膜または内膜の肥厚度から予測できるかの検討では、両者は必ずしも一致しなかった⁵⁾。その理由としては、肺高血圧症では肺動脈の各部位の病変が均一でなく、IVUS を試行した部位の肺血管の所見が肺動脈全体を反映しない可能性が考えられる。一つの症例で、多数の部位での IVUS 所見を平均化するなどの工夫が必要であろう。

IVUS はカテーテル治療の効果を判定する際のみならず、動脈の壁特性や組織所見の推定の一助として小児の肺動脈で今後も広く使用されるであろう。

文 献

- 1) 山岸正和, 宮武邦夫: 血管内エコーの基本と臨床応用への展開. 循環器科 1995; 38: 345-354
- 2) 豊野学朋, 中西敏雄, 近藤千里, 富松宏文, 門間和夫: 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. 日小循環誌 1999; 15: 451-456
- 3) Pandian NG, Weintraub A, Kreis A, Schwartz SL, Konstam MA, Salem DN: Intracardiac, intravascular, two-dimensional, high-frequency ultrasound imaging of pulmonary artery and its branches in humans and animals. Circulation 1990; 81: 2007-2012
- 4) 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. JACC 1995; 26: 272-276
- 5) Ivy DD, Neish SR, Knudson OA, Nihill MR, Schaffer MS, Tyson RW, Abman SH, Shaffer EM, Valdes-Cruz L: Intravascular ultrasonic characteristics and vasoreactivity of the pulmonary vasculature in children with pulmonary hypertension. Am J Cardiol 1998; 81: 740-748
- 6) Day RW, Tani LY: Pulmonary intravascular ultrasound in infants and children with congenital heart disease. Cardiovasc Diagn 1997; 41: 395-398
- 7) Scott PJ, Essop AR, Al-Ashab W, Deane A, Parsons J, Williams G. Imaging of pulmonary vascular disease by intravascular ultrasound. Int J Card Imaging 1993; 9: 179-184
- 8) 福田久也, 吉川純一, 吉田 清, 赤坂隆史, 赤土正洋: 15 MHz 探触子を用いた血管内超音波法による大血管の評価. Jpn J Med Ultrasonics 1993; 20: 459-464
- 9) Rein AJT, Preminger TJ, Perry SB, Lock JE, Sanders SP: Generalized arteriopathy in Williams syndrome: an intravascular ultrasound study. JACC 1993; 21: 1721-1730
- 10) Ino T, Okubo M, Akimoto K, Nishimoto 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

- 11) Follman DF, Levin TN, Lang RM, Feldman T, Carroll JD : Low-frequency intracardiac ultrasonographic imaging before and after balloon pulmonary valvuloplasty. *Am Heart J* 1993 ; 125 : 259 262
 - 12) Berger RMF, Cromme-Dijkhuis AH, Van Vliet AM, Hess J : Evaluation of the pulmonary vasculature and dynamics with intravascular ultrasound imaging in children and infants. *Pediatr Res* 1995 ; 38 : 36 41
 - 13) Porter TR, Taylor D, Pandian NG, Nixon JV, Vetrovec GW, Mohanty PK : Pulmonary arterial dynamics in congestive heart failure in humans : significance of pulmonary arterial stiffness. *J Vasc Med Biol* 1993 ; 4 : 105 114
-