

ヘリカルCTを用いた三次元画像診断の有用性

白石 公¹⁾, 梶山 葉¹⁾, 浜岡亜希子¹⁾, 米田 哲¹⁾
 小林 奈歩¹⁾, 則武加奈恵¹⁾, 藤井麻衣子¹⁾, 加藤 竜一¹⁾
 河井 容子¹⁾, 浅妻 右子¹⁾, 吹田 ちほ¹⁾, 藤本 一途¹⁾
 小澤誠一郎¹⁾, 山元 康敏¹⁾, 田中 敏克¹⁾, 糸井 利幸¹⁾
 宮崎 隆子²⁾, 新川 武史²⁾, 春藤 啓介²⁾
 山岸 正明²⁾, 浜岡 建城¹⁾

Key words :

asplenia, helical CT, 3D image reconstruction, total anomalous pulmonary venous drainage, Glenn anastomosis, Fontan procedure

京都府立医科大学大学院医学研究科発達循環病態学¹⁾
 京都府立医科大学小児疾患研究施設小児心臓血管外科²⁾

Usefulness of Three-dimensional Diagnosis with Multi-slice CT Angiography in Pre- and Post-operative Management of Patients with Asplenia

Isao Shiraishi,¹⁾ Yo Kajiyama,¹⁾ Akiko Hamaoka,¹⁾ Tohru Yoneda,¹⁾ Naho Kobayashi,¹⁾ Kanae Noritake,¹⁾ Maiko Fujii,¹⁾ Ryu-ichi Kato,¹⁾ Yoko Kawai,¹⁾ Yuko Asazuma,¹⁾ Chiho Suita,¹⁾ Kazuto Fujimoto,¹⁾ Sei-ichiro Ozawa,¹⁾ Yasutoshi Yamamoto,¹⁾ Toshikatsu Tanaka,¹⁾ Toshiyuki Itoi,¹⁾ Takako Miyazaki,²⁾ Takeshi Shinkawa,²⁾ Keisuke Shuntoh,²⁾ Masaaki Yamagishi,²⁾ and Kenji Hamaoka¹⁾

¹⁾ Department of Pediatric Cardiology and Nephrology, Kyoto Prefectural University of Medicine Graduate School of Medical Science,

²⁾ Department of Pediatric Cardiovascular Surgery, Children's Research Hospital, Kyoto Prefectural University of Medicine, Kyoto, Japan

Background: Patients with asplenia syndrome initially are accompanied with various kinds of cardiovascular anomalies such as total anomalous pulmonary venous drainage, pulmonary stenosis or atresia, pulmonary coarctation, and anomalies in systemic veins. Stenosis at pulmonary arteries and veins after palliative surgery sometimes obstructs Glenn and Fontan procedures. Therefore, accurate three-dimensional information on cardiovascular anomalies is essential for successful surgical treatment of asplenia patients.

Methods: Between 1997 and 2005, we performed 39 helical CT examinations in 14 asplenia patients. The usefulness and disadvantages of helical CT examination were evaluated for these examinations.

Results: Helical CT examinations were mainly performed for evaluation of anomalous pulmonary venous drainage (n = 17), Glenn anastomosis (n = 7), Blalock-Taussig shunt (n = 5), pulmonary stenosis (n = 4), Fontan procedure (n = 4), and major aortopulmonary collateral arteries (n = 2). All the CT examinations were safely done even in neonates with pulmonary venous stenosis, and the images provided us with very useful information for surgical and catheter interventions. The resolution of helical CT examinations was only problematic in patients after numerous coil embolizations.

Conclusion: Helical CT examination is a very useful diagnostic modality that provides accurate anatomical diagnosis and contributes to improvement of surgical operations in asplenia syndrome.

要 旨

背景：無脾症候群には、総肺静脈還流異常、主肺動脈閉鎖や肺動脈低形成、肺動脈の縮窄など肺動静脈の異常が高率に合併し、両方向性Glenn手術やFontan手術に際して大きな障害となる。治療成績向上には、肺動静脈の正確な三次元診断が必須である。

方法：1997年から2005年12月までに無脾症候群と診断され、ヘリカルCT検査が実施された14例(計39回)について、その有用性と問題点について検討した。

結果：ヘリカルCT検査は肺静脈還流異常の術前術後に17回、Glenn吻合後に7回、BT-shunt術後に5回、肺動脈狭

平成18年2月6日受付
 平成18年7月10日受理

別刷請求先：〒602-8566 京都市上京区河原町広小路梶井町465
 京都府立医科大学大学院医学研究科発達循環病態学 白石 公
 E-mail: isao@koto.kpu-m.ac.jp

窄に4回，Fontan術後に4回，主要体肺側副動脈に2回行われた．ヘリカルCT検査で得られた三次元画像は外科治療やカテーテルインターベンションの術前情報として有用であった．コイル塞栓を多数行った症例ではアーティファクトの画像処理に時間を要した．

結論：ヘリカルCTを用いた三次元画像診断は，無脾症候群における体肺動静脈の合併奇形の診断および外科治療にたいへん有用であった．

緒 言

無脾症候群では肺動脈閉鎖や肺動脈狭窄，主肺動脈や末梢肺動脈の低形成，左右肺動脈への不均等な血流分布，主要体肺側副動脈(major aortopulmonary collateral arteries：MAPCA)，総肺静脈還流異常，肺静脈狭窄による肺うっ血，両側上大静脈，下大静脈の走行異常，下大静脈と門脈との合流異常，右側大動脈弓など，多数の肺動静脈および体静脈系の走行異常を伴うことが知られている^{1,2)}．これらの異常な血管の多くは立体的に複雑な走行を呈するため，断層心エコーや血管造影検査などの二次元画像診断装置だけでは外科手術に必要な正確な血管走行の三次元情報を得ることが困難なことが多い．

最近の目覚ましいコンピュータ画像処理技術の進歩により，マルチスライスCTやMRIなどを用いた三次元画像診断装置の性能が飛躍的に向上した．なかでもマルチスライスCTは16列から64列のdetectorをもつ装置が市販されるようになり，検査時間の短縮，画質の向上，X線被曝の低減化などが実現されるようになった．われわれの施設ではシングルスライスのヘリカルCT装置が導入された早期からCTを用いた複雑先天性心疾患の三次元画像診断を行ってきた．1997年から2005年末までの間に611回の検査を実施し，これまでにその有用性と問題点を報告してきた³⁻¹¹⁾．2003年以降には4列，16列，そして現在では64列のマルチスライスCTを用いて複雑心奇形の三次元画像診断を行っている．現在では画像処理装置の発達により三次元画像処理時間は大幅に短縮され，以前は2時間以上かかっていた動静脈の分離表示が20～30分で行えるようになった．

今回は1997年以降2005年末までにわれわれの施設で経験しヘリカルCT検査が実施された14例の無脾症候群症例に対し，肺動脈，肺静脈，体静脈系の走行異常を診断する目的で行った計39回のヘリカルCT検査を後方視的にまとめ，その有用性と問題点について検討した．

対象と方法

京都府立医科大学小児疾患研究施設小児内科および小児心臓血管外科において，1997年7月から2005年12

月までの8年6カ月の間に心血管病変のある小児に対して，611回のヘリカルCT検査および三次元画像処理を行ってきた．その間に以下の診断基準を満たし無脾症候群と診断され，ヘリカルCT検査が実施されたのは14例であった．無脾症候群の診断は末梢血血液検査でのHowell-Jolly小体の存在，外科手術での右側相同の心耳形態，胸部X線写真での気管の分岐，腹部エコーでの脾臓の欠損，死亡例では剖検所見などを基に臨床的に総合的に行い，胸部腹部臓器とともに確実に無脾症候群と判断される症例のみを今回の検討の対象とした(Table 1)．

1．ヘリカルCT撮影装置

ヘリカルCT検査および画像処理は，1997年より2002年まではシングルスライスCT(X Vigor Laudator, Toshiba, Tokyo, Japan)と三次元画像処理装置(X Tension, Toshiba)を，2003年以降は4列および16列マルチスライスCT(Aquilion 16, Toshiba)と三次元画像処理装置(ZIO M900, AMIN, Tokyo, Japan)を用いて行った．

2．造影剤の注入部位および速度

心血管造影剤(ヨード含量300～350mg/ml)を用い，右手末梢静脈(おもに手背静脈)から自動インジェクターを用いて2.0ml/kg(最大100ml)の造影剤原液を注入した．造影剤の注入は試行錯誤の結果，少量持続投与(0.1ml/kg/秒)で行っている^{9,10)}．ヘリカルCTスキャンは造影剤注入開始17～18秒後に開始している．無脾症候群に合併する両側上大静脈の症例で，両側Glenn手術後の吻合部の評価を行うヘリカルCTでは，インジェクターからの造影剤を2分割して左右両手に同時注入を行った．Fontan手術前後の血行動態の評価には基本的には造影剤は上肢から注入した．呼吸変動による肺動脈血の逆流により，conduitや下大静脈まで十分に造影され得た．下大静脈とconduit接合部の評価が主目的であった一部の症例では，下肢からも造影剤を同時注入した．

結 果

1．総肺静脈還流異常の診断

無脾症候群には約80%の症例に総肺静脈還流異常が合併すると報告されている^{1,2)}．両側右心耳形態の典型

Table 1 Patients' profiles

Case	Age	Initial diagnoses	Surgical interventions
1	0m*	SA, SRV, CAVC, PA, PDA, TAPVD II (PVO)	LA-PV anastomosis + BT-shunt
2	0m*	SA, SRV, CAVC, PA, PDA, TAPVD Ib (PVO)	LA-PV anastomosis + BT-shunt
3	0m*	SA, SRV, CAVC, PA, TAPVD Ib (PVO) bilateral PDA, non-confluent PA	LA-PV anastomosis + BT-shunt
4	8m	SA, SRV, CAVC, PS, TAPVD Ib	LA-PV anastomosis + BCPS
5	1y3m	SA, SRV, CAVC, PA, PDA	BT-shunt, BCPS + CAVV plasty
6	1y7m	SA, SRV, CAVC, PA, PDA, MAPCA	Bilateral-UF + BT-shunt + CAVV plasty BCPS + CAVV plasty + rt-UF
7	3y	SA, SRV, CAVC, PS, TAPVD Ib	LA-PV anastomosis + BCPS + CAVV plasty TCPC
8	3y	DORV, CAVC, PS	BT-shunt, BCPS, TCPC
9	4y	SA, SRV, CAVC, PA, PDA	BT-shunt, BCPS + CAVV plasty, TCPC + CAVV plasty
10	4y	SA, SRV, CAVC, PA, PDA, TAPVD IV (Ia + IIb, PVO)	BT-shunt, LA-PV anastomosis, BCPS + CAVV plasty, stenting for PVs
11	5y	SA, SRV, CAVC, PA, PDA, TAPVD III (PVO)	BT-shunt, LA-PV anastomosis, BCPS + CAVV plasty, fenestrated TCPC
12	5y	SA, SV, CAVC, PS, APCA	Central shunt (other hospital)
13	7y	SA, SRV, CAVC, PA, PDA, TAPVD IV (Ib + IIb, PVO)	BT-shunt, LA-PV anastomosis BCPS, TCPC + CAVV plasty
14	22y	SA, SRV, CAVC, PA, PDA	BT-shunt, BCPS, fenestrated Fontan

BCPS: bidirectional cavo-pulmonary shunt, BT-shunt: Blalock-Taussig shunt, CAVV: common atrioventricular valve, LA-PV: left atrium-pulmonary vein, PA: pulmonary atresia, PDA: patent ductus arteriosus, PVO: pulmonary venous obstruction, SA: single atrium, SRV: single right ventricle, TAPVD: total anomalous pulmonary venous drainage, TCPC: total cavo-pulmonary connection, UF: unifocalization, *: death

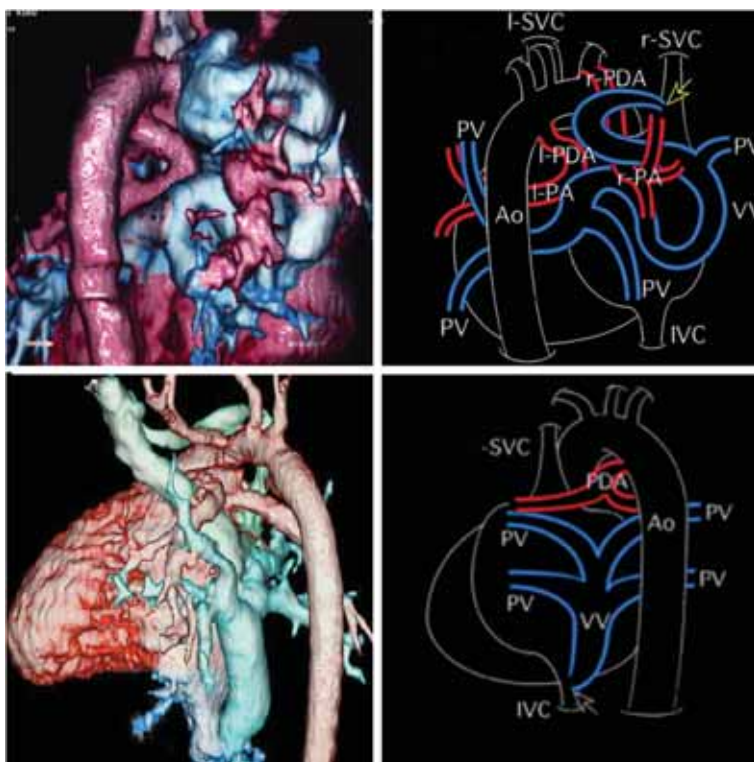
的な右側相同に限れば、左心房が存在しないことからほぼ全例が心臓型を含む総肺静脈還流異常であるとも考えられる。今回の検討では心臓型以外の明らかな総肺静脈還流異常が7例、高度の肺静脈狭窄を伴う心臓型総肺静脈還流異常が1例に認められた。Darlingの分類による内訳は、Ib型が4例、IIb型が1例、III型が1例、IV型(IbとIIbの混合型、IaとIIbの混合型)が2例であった。これら8例中6例には肺静脈狭窄による明らかな肺うっ血症状が認められ、ヘリカルCTによる三次元診断を基に共通肺静脈-左心房吻合による肺静脈狭窄解除が実施された。Fig. 1Aに単心房、単心室、共通房室弁、肺動脈閉鎖、左右肺動脈不連続、両側動脈管開存、総肺静脈還流異常Ib型(肺静脈狭窄を伴う)と診断された症例3を提示する。共通肺静脈は縦隔内で立体的に複雑にねじれて上行し、最終的に狭窄を伴って上大静脈に還流していた。Fig. 1Bに、単心房、単心室、共通房室弁、肺動脈狭窄、動脈管開存、総肺静脈還流異常III型で新生児期より強い肺うっ血を呈した症例11の初診時のヘリカルCT所見を示す。垂直静脈が横隔膜を貫き狭窄を伴って下大静脈に還流する所見が明瞭に

描出されている。

ヘリカルCTは総肺静脈還流異常の術後の経過観察にも有用であった。新生児期に肺静脈狭窄を伴うIV型(Ia + IIb型)の総肺静脈還流異常(症例10)では、共通肺静脈-左房吻合術後に肺静脈狭窄を来し、生後6カ月時に肺静脈狭窄解除術、生後10カ月時に両方向性Glenn手術+肺静脈狭窄再解除術を行った。再々手術後も末梢性の肺静脈狭窄が再発したために(Fig. 2A-1~3)、肺静脈のバルーン拡大術を2回、さらには1歳6カ月時に左右上肺からの肺静脈にステント留置を施行した(Fig. 2B-1~3)。

2. 体肺側副動脈の診断およびBTシャント術の評価

無脾症候群には肺動脈閉鎖や高度の肺動脈狭窄を高率に合併する。特に胎生期より主肺動脈が十分に発達しなかった症例では、大動脈から肺血流が供給されることがあり、心室中隔欠損兼肺動脈閉鎖症にみられるようなMAPCAが発達する。Fig. 3A-1, 2に体肺側副動脈を伴った無脾症候群(症例6)のヘリカルCT所見を示す。動脈管から主肺動脈への血流も認められるが、下



A-1	A-2
B-1	B-2

Fig. 1 A-1, a neonate with total anomalous pulmonary venous drainage type Ib (case #3, day 3). A-2, A schematic of A-1. Arrow indicates the portion of pulmonary vein stenosis. B-1, a neonate with asplenia and total anomalous pulmonary venous drainage type III (day 2, case #11). B-2, schematic of B-1. (From Shiraishi et al., J Thorac Cardiovasc Surg 2003;125:36-39⁸⁾. Shiraishi et al., Circulation 2000;101:2017-2018⁴⁾.)

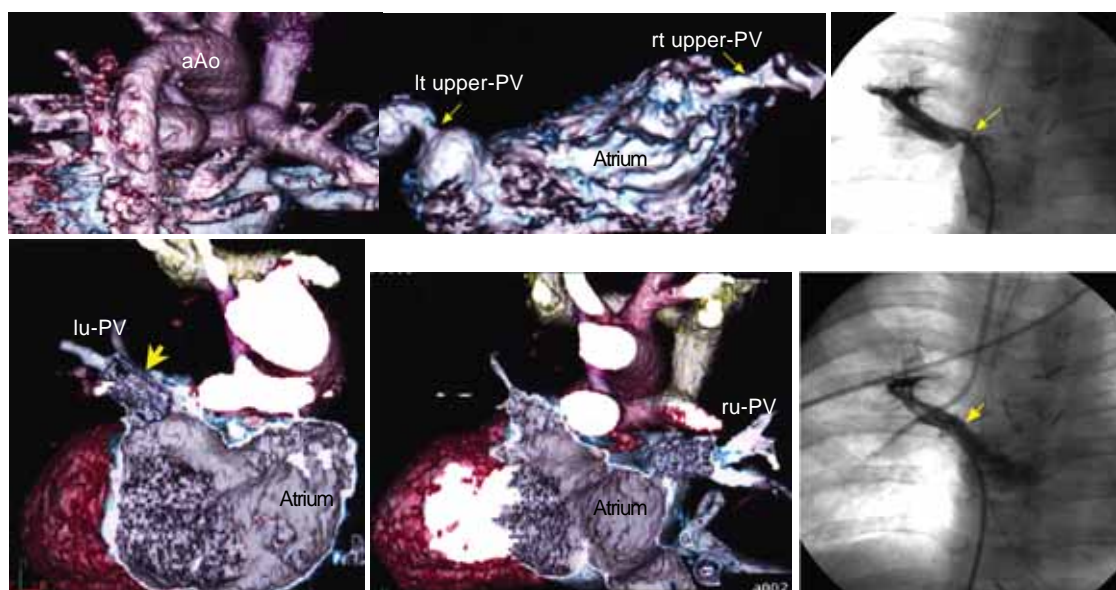


Fig. 2 A-1, A-2, recurrent pulmonary vein stenosis in an infant with asplenia and total anomalous pulmonary venous drainage type IV (Ia + IIb, case #10). Arrows indicate pulmonary vein stenosis. A-3, pulmonary venograms of the same patient. B-1, B-2, helical CT angiograms of the patient after stent implantation. Arrows indicate stents. B-3, pulmonary venograms of the same patient after stent implantation. Arrows indicate stents.

A-1	A-2	A-3
B-1	B-2	B-3

行大動脈から複数の体肺側副動脈が肺血流を供給している。この症例では生後2カ月にbilateral-unifocalization

とその部分へのBT(Blalock-Taussig)-shunt手術, 生後11カ月時に両方向性Glenn手術(bidirectional cavopulmonary

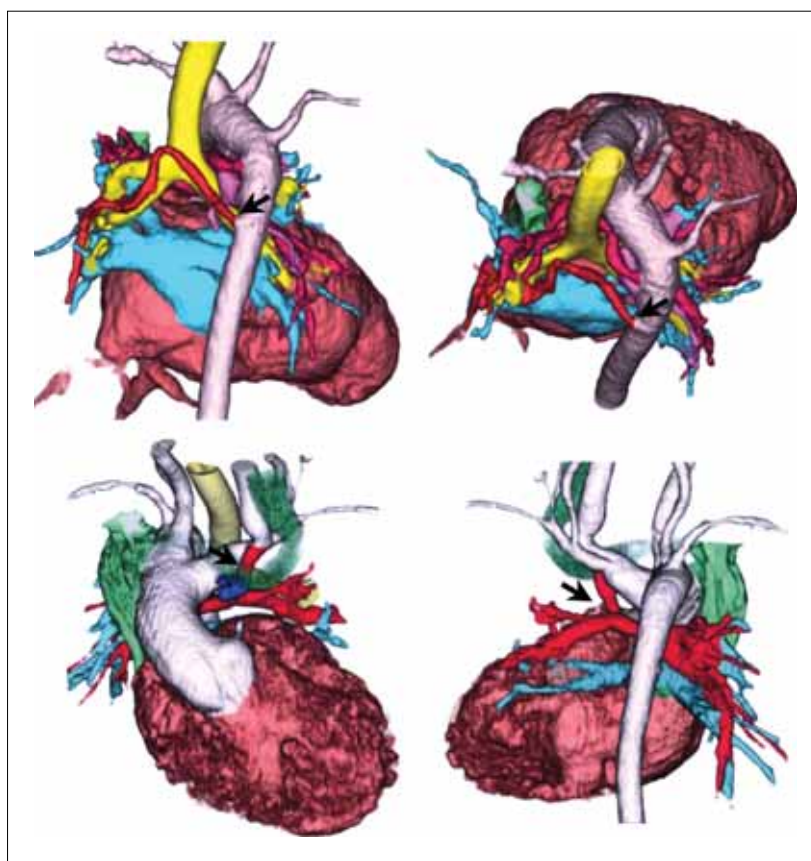


Fig. 3 A-1, A-2, helical CT angiograms of a neonate with asplenia and major aortopulmonary collateral arteries (case #6, day 19). Arrows indicate collateral arteries. B-1, B-2, helical CT angiograms of an infant with asplenia and pulmonary atresia after Blalock-Taussig shunt (case #5, 11 months). Arrows indicate BT-shunt.

shunt : BCPS) + rt-PA (pulmonary artery) plasty + rt-unifocalization手術が行われ、現在術後経過は順調で、Fontan手術 (total cavopulmonary connection : TCPC) 待機中である。Fig. 3B-1, 2 にBT-shunt術後評価の目的で、生後11カ月時に行った症例5のヘリカルCT所見を提示する。右側大動脈弓の左腕頭動脈にかけられたmodified BT-shuntは良好な開存を示し、左右の肺動脈の発育も良好である。

3. 両方向性Glenn手術およびFontan手術前後の評価

総肺静脈還流異常Ibと肺動脈狭窄を合併し、生後6カ月に共通肺静脈 - 左房吻合 + 両方向性Glenn手術を行った単心房、単心室、共通房室弁の無脾症候群 (症例7) の術前診断時 (Fig. 4A-1) およびGlenn吻合の術後に行った生後8カ月のヘリカルCT所見 (Fig. 4A-2, 3) を提示する。初診時の蛇行した垂直静脈 (Fig. 4A-1 矢印)、両側上大静脈にかけられた両方向性Glenn手術 (Fig. 4A-2, 3 矢印) の開存が良好に観察される。この症例ではGlenn手術後は造影剤を2分割して両側上肢より注入して撮影した。さらにFontan手術前に行ったヘリカルCT所見をFig. 4A-4に提示する。複数の静脈 - 静脈シャント血

管が上大静脈から下大静脈領域に形成されているのが観察された。この症例では2歳2カ月時にFontan手術を施行、術後に胸水貯留がやや遅延したが、3歳の現在全身状態はたいへん良好であり、抗凝固薬を内服しながら外来通院中である。

Glenn手術とFontan手術を終えた無脾症候群 (症例9) のヘリカルCT所見をFig. 4B-1, 2に提示する。Glenn吻合、extra-cardiac conduitの開存状態が明瞭に描出されている。矢印はMAPCAに対して塞栓術を行った金属コイルにより生じたアーティファクトである。コイルとアーティファクトを画像処理に際して最大限除去して再構成した画像であるが、左上大静脈および下大静脈が途切れたように見えている。これらの部分は断層心エコーで良好な血流が保たれていることが容易に診断可能であり、両検査を組み合わせることによりTCPC術後の循環動態を三次元的に評価することが可能である。

その他、ヘリカルCT検査は、両方向性Glenn手術やFontan手術前後において、1) 両側の上大静脈の走行確認や狭窄の有無、2) 静脈シャントの有無、3) 下大静脈の走行異常および肝静脈との合流異常の有無、などの体

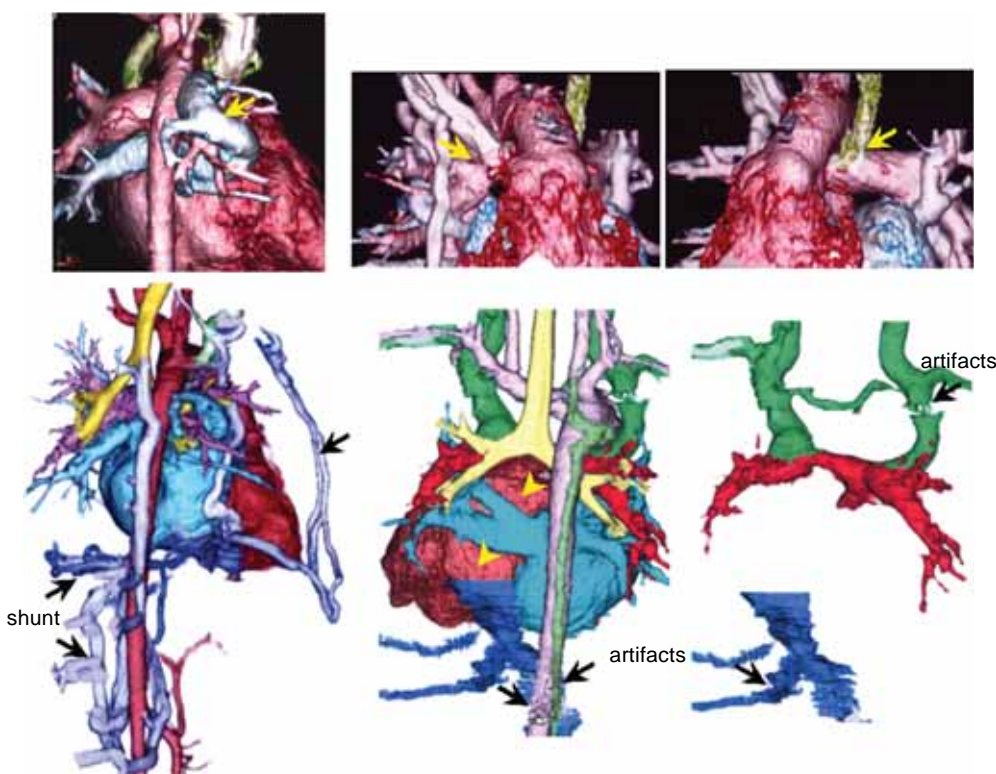


Fig. 4 A-1, helical CT angiogram of an infant with asplenia and total anomalous pulmonary venous drainage type Ib (case #7, 6 months). Arrows indicate tortuous common pulmonary vein. A-2, A-3, helical CT angiograms of the same patient after Glenn anastomosis (8 months). Arrows indicate right and left Glenn anastomosis. A-4, helical CT angiogram of the same patient before Fontan procedure (2y 1m). Arrows indicate venous shunts. B-1, B-2, helical CT angiograms of a child with asplenia after Glenn and Fontan procedures (case #9, 2y 9m). Arrows indicate artifacts induced by coil embolization. Arrowheads indicate extra-cardiac conduit.

A-1	A-2	A-3
A-4	B-1	B-2

静脈の重要な三次元情報を提供してくれる。

考 察

無脾症候群にみられる心血管系合併症としては、両側上大静脈，右側大動脈弓，単心房，単心室，共通房室弁，肺動脈弁狭窄および閉鎖，両大血管右室起始，肺静脈還流異常，動脈管開存，洞結節および房室結節の刺激伝導系異常，などが挙げられる^{1,2)}。典型的な右側相同を呈する症例から不完全な右側相同のパターンを呈する症例までスペクトラムは広く，左側相同とともに内臓錯位症候群として総称される。内臓錯位症候群の発生異常としては，1) 体の左右軸を決定する遺伝子そのものの異常，もしくは，2) 左右軸の情報を最終的に心臓の形態形成に伝達するシグナル経路の異常，などが原因として考えられている。すなわち，正常胚(3層性胚盤)では原始結節(primary node)で左向きのnodal flowが生じ，この流れによって体の左側を決定す

る因子(nodalなど)が胚の左へ移動するとされているが，無脾症候群ではこれらの体の左側を決定する因子が正常に胚の左側へ移動しないもしくは作用せず，その下流で内臓臓器の左右を決定する因子PitX2が正常に機能しないために両側が右側になるのではないかと考えられている¹²⁾。腹部と胸部である程度の錯位のパターンが混在する症例が認められるのも，左側もしくは右側決定因子の分布がall or noneではなくモザイク状になるためとも考えられる。このように複雑先天性心疾患のなかでも比較的頻度が高く，体肺血管系の奇形がバリエーションにたいへん富んでいるのが無脾症候群の特徴である。

ヘリカルCT検査は，1) 複雑な先天性心疾患の三次元情報が短時間に得られること，2) 画像処理により任意の方向からみた大血管形の画像を作り出すことができること，3) 心不全，チアノーゼ，肺うっ血などの重症な症状を呈する新生児にも比較的安全に検査すること

が可能なこと、などの特徴がある⁹⁻¹¹。X線検査である以上、ある程度のX線被曝は避けられず、胸部ヘリカルCT検査では平均3.9mSvの被曝が報告されている¹³。診断カテーテル検査の4.6mSvやカテーテル治療の6.0mSvに比べると被曝量は少ない¹⁴。また最近では、16列や64列のマルチスライスCT装置が市販され、検査時間の短縮と被曝の軽減化が進んでいる。最新の64列のマルチスライスCTを用いると、新生児なら約3~5秒で頸部動脈から心尖部までがスキャン可能である。造影剤を用いることは欠点の一つであるが、造影剤を用いることで逆にほかの検査手技、とりわけMRIでは得ることのできない高いコントラスト画像が得られることも特徴の一つである。末梢静脈から体重当たり2.0 ml/kgの造影剤を0.1 ml/kg/秒で静注することで、挿管人工呼吸中の重症な症例でも呼吸や循環動態の悪化を来すことなく検査することが可能である^{9, 10}。造影剤をある程度bolusに投与方法もとられるが、この方法ではCTスキャンを開始するタイミングを誤ると心血管系の一部が造影されないことがある。X線被曝が問題となる小児では、このような注入ミスによる再造影は避けなければならないので、われわれは造影剤を少量持続投与している。これまでに総肺静脈還流異常で肺うっ血を来し、気管内挿管による人工換気を行っている症例に対してもヘリカルCT検査を行ってきたが、CT検査前後での動脈血pH, pO₂, BEには悪化はみられなかった^{8, 10}。ただし循環動態の維持に相当量のカテコラミンが必要で、CT室へ搬送することすら困難な症例は検査の対象とはならない。出生直後より内科的なコントロールが困難な肺静脈閉塞症状を呈した初期(2002年以前)の3例(症例1~3)では、新生児期にヘリカルCT検査を実施し、その画像に基づいて共通肺静脈-左心房吻合による狭窄解除術およびBT-shunt術が行われたが、術後に低酸素血症の改善がみられず死亡した。これらの症例のなかには剖検による肺組織の病理診断において、多発性の末梢肺静脈狭窄や肺動脈の過形成を主体とした組織レベルでの血管形成異常が認められた¹⁵。

今回の検討でまとめたように、ヘリカルCTを用いた三次元画像診断は、無脾症候群において、1)初診時の総肺静脈還流異常と還流部位での狭窄の有無、動脈管の走行と狭窄の有無、肺動脈狭窄や縮窄の有無、MAPCAの診断、2)BT-shunt手術後およびunifocalization手術後の左右肺動脈の血流分布の確認、肺動脈のねじれの有無、3)Glenn手術前の肺動脈の形態や上大静脈と肺動脈の位置関係、4)Fontan手術に際しての下大静脈や肝静脈の形態と走行、静脈シャントの存在、5)Fontan手術後の吻合部の状態、などを非侵襲的に繰り返し観察

することが可能である。被曝量が多ならないようにヘリカルCT検査回数を制限することが必要であるとともに、形態だけを問題とする診断カテーテル検査の回数は、ヘリカルCTやMRIの普及により減少させることができるだろう。われわれはさらに無脾症候群に代表される複雑心奇形の診断と外科的治療をより確実なものにするために、ヘリカルCT検査から得られた3Dデータを基に、光造形法を応用して個々の先天性心疾患のプラスチックレプリカを試作している¹⁶。この方法がルーチン化されると診断がより確実になるとともに、外科手術前に手術シミュレーションできることが期待される。このようにヘリカルCT検査は現時点においても無脾症候群の治療戦略にたいへん重要であるとともに、CTのハードウェア、画像処理のソフトウェア、さらには周辺装置の発達により、今後さらに発展する可能性を秘めている。

【参考文献】

- 1) Hagler DJ, O'Leary PW: Cardiac malpositions and abnormalities of atrial and visceral situs, in Allen HD, Gutgesell HP, Clark EB, Driscoll DJ (eds): Moss and Adams' Heart disease in infants, children, and adolescents. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2001, pp1151-1164
- 2) 篠原 徹: 心房内臓錯位症候群. 臨床発達心臓病学. 高尾篤良, 門間和夫, 中澤 誠, 中西敏雄(編), 改訂3版, 東京, 中外医学社, 2001, pp393-398
- 3) Hamaoka K, Ozawa S, Sutou F, et al: Spiral CT scanning angiography for assessing systemic-to-pulmonary shunt in children. Lancet 1996; 348: 341
- 4) Shiraishi I, Kato Y, Todoroki H, et al: Images in cardiovascular medicine. Differential color imaging technique of helical CT angiography in the diagnosis of total anomalous pulmonary venous drainage. Circulation 2000; 101: 2017-2018
- 5) Shiraishi I, Yamagishi M, Iwasaki N, et al: Helical computed tomographic angiography in obstructed total anomalous pulmonary venous drainage. Ann Thorac Surg 2001; 71: 1690-1692
- 6) Yamagishi M, Fujiwara K, Yamada Y, et al: Norwood operation for left isomeric heart with aortic atresia: Evaluation with three-dimensional computed tomography. J Thorac Cardiovasc Surg 2001; 121: 1205-1207
- 7) Oka T, Shiraishi I, Iwasaki N, et al: Usefulness of helical CT angiography and MRI in the diagnosis and treatment of pentalogy of Cantrell. J Pediatr 2003; 142: 84
- 8) Shiraishi I, Yamamoto Y, Ozawa S, et al: Application of helical computed tomographic angiography with differential color imaging three-dimensional reconstruction in the diagnosis of complicated congenital heart diseases. J Thorac Cardiovasc Surg 2003; 125: 36-39

- 9) 白石 公：3次元CT検査は先天性心疾患患者では実際にはどのように検査するのですか？ 小児内科 2005; 35: 1585-1588
- 10) 白石 公，ほか：先天性心疾患におけるヘリカルCT診断．浜岡建城(監)，白石 公(編)，東京，メジカルビュー社，2004，pp28-139
- 11) 白石 公，浜岡建城：先天性心疾患の3次元画像診断．小児心臓外科の要点と盲点．高本眞一(監)，角 秀秋(編)，文光堂，2006，pp18-23
- 12) 白石 公，浜岡建城：心臓発生過程におけるループ形成の機序．Annual Review 循環器 2004，中澤 誠(編)，東京，中外医学社，2004，pp27-33
- 13) Bacher K, Bogaert E, Lapere R, et al: Patient-specific dose and radiation risk estimation in pediatric cardiac catheterization. Circulation 2005; 111: 83-89
- 14) Pages J, Buis N, Osteaux M: CT dose in children: A multi-center study. Br J Radiol 2003; 76: 803-811
- 15) 山岸正明，春藤啓介，高橋章之，ほか：無脾症候群に伴う心奇形に対する外科治療 総肺静脈還流異常症合併例を中心に．日小循誌 2001；17：691-697
- 16) Shiraishi I, Kajiyama Y, Yamagishi M, et al: Images in cardiovascular medicine. Stereolithographic biomodeling of congenital heart disease by multislice computed tomography imaging. Circulation 2006; 113:e733-734