

総説

第34回 日本小児放射線学会シンポジウム
「小児領域でのらせんCT」より

小児の胸部外科疾患における三次元表示らせんCTの有用性 －気管・気管支軟化症の診断を中心に－

窪田昭男, 米倉竹夫, 保木昌徳, 広岡慎治
小角卓也, 山内勝治, 大柳治正
近畿大学医学部 第二外科

Role of Helical CT in Thoracic Diseases of Children －Diagnosis of Tracheobronchial Malacia－

Akio Kubota, Takeo Yonekura, Masanori Hoki, Shinji Hirooka
Takuya Kosumi, Katsuji Yamauchi, Harumasa Oyanagi

Department of Surgery II, Kinki University

Abstract Helical CT with 3-dimensional reconstruction image (3D-HCT) can delineate major thoracic organs, great vessels and tracheobronchial systems clearly. Therefore, it is very useful for diagnosis of those diseases where great vessels, trachea and bronchi are involved, especially tracheobronchial malacia. In this article, we present 3 cases of tracheobronchial malacia with unusual anatomical arrangements, and an extremely rare case of diaphragmatic hernia, and describe how radiological imaging can contribute to selection of operative procedures. Case 1 (11-month-old boy) with postoperative Bochdalek hernia had a marked mediastinal displacement due to a hyperexpanded right lung and an immature left lung. He had been suffering from severe tracheomalacia. 3D-HCT demonstrated the stretched innominate artery compressing the trachea attributable to the malacia. Case 2 (1-year-old girl) with ECD had pulmonary hypertension after pulmonary arterial banding. She could not be weaned off ventilator because of tracheobronchomalacia. 3D-HCT revealed a markedly dilated right pulmonary artery compressing the trachea and bilateral stem bronchi with aorta. Case 3 (20-year-old man) had spastic quadriplegia and suffered from intractable tracheomalacia. 3D-HCT revealed a narrow thoracic inlet with tracheal compression by innominate artery between the sternum and a vertebra. In these cases 3D-HCT suggested the appropriate operation procedures. Case 4 (9-month-old boy) presented Budd-Chiari syndrome caused by an anteromedial diaphragmatic hernia bordering on IVC. 3D-HCT demonstrated IVC obstruction with collateral circulation. A thoracic approach failed to repair the hernia. If 3D image was reconstructed in more detail, transabdominal approach could be selected. The importance of radiologic imaging in selection of operative procedures was reevaluated.

Key words Children, helical(spiral) CT, Tracheomalacia, Bronchomalacia, Diaphragmatic hernia

はじめに

胸腔内の主要臓器である大血管および気管・気管支はCT値の差が大きいので、両者は適当な閾値設定によりそれぞれ鮮明に描出される。従って、らせんCT（以下、HCT）撮影を行い三次元画像（3D-HCT）を再構築すれば、大血管と気管気管支の立体的位置関係を明瞭に描画することができ、両者が関与する疾患を診断する上で極めて有用である。一方、縦隔臓器の偏位など解剖学的異常に起因する気管・気管支軟化症においては外因性因子を正しく把握することは治療法を選択する上で重要である。

われわれは縦隔臓器の著しい偏位を伴い、3D-HCTがその診断に有用であった気管・気管支軟化症の3例および興味ある画像を呈した稀な病型を示す横隔膜ヘルニア症例を経験したので、画像を中心に報告すると共に、小児外科

医の立場より、画像診断が術式選択に如何に関与しているかについて述べる。

方法および対象

1. HCT撮像法

機種は東芝X-Vigor TSX-012A（症例1は東芝Superhelix TCT-900S）を用いた。slice幅は3～5mm（同2mm）、テーブル速度は3～5mm/秒（同2mm/1秒）である。造影剤はオプチレイ320（同イオパミロン-300）2ml/kgを用い、静注直後に撮像した。撮像時の鎮静はトリクロリール1ml/kg経口投与によって行った。撮像は、気管内挿管していた症例1～3は呼吸を停止させて行い、気管内挿管されていなかった症例4では自発呼吸のままで行った。三次元画像の再構築はボリュームレンダリング法によって行った。ワークステーションは東芝X-tensionを用いた。

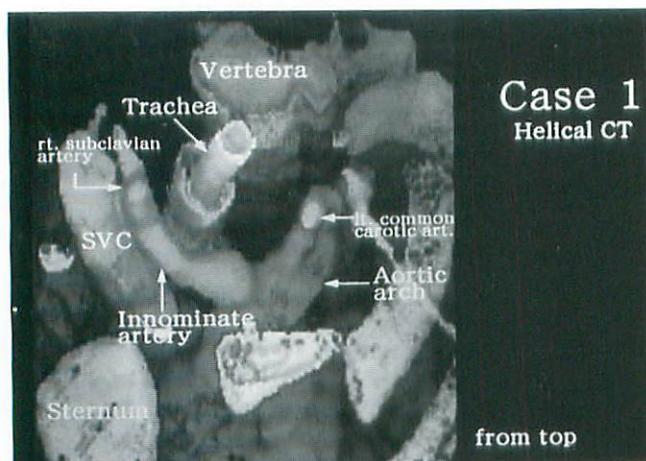


Fig.1 3D-HCT of Case 1

The mediastinum is markedly deviated leftward and the stretched innominate artery compresses the trachea.

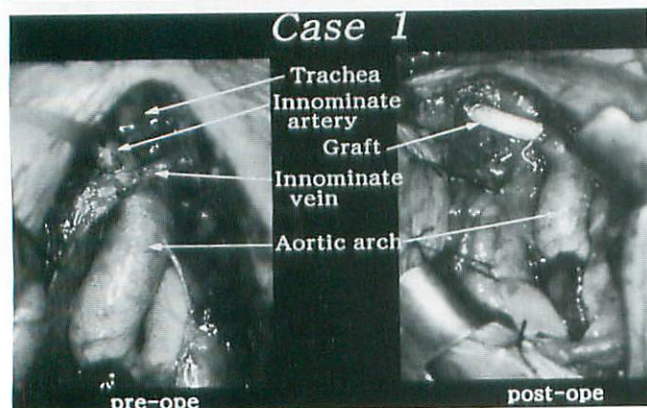


Fig.2 Case 1

The aortic arch with innominate artery deviates leftward compressing the trachea. The artery is elongated with graft, and the anterior mediastinum is septated by suturing the pericardium to the sternum.

2. 対 象

対象症例は気管・気管支軟化症3例(11ヵ月～20歳)とBudd-Chiari症候群を呈した極めて稀な前内側横隔膜ヘルニア1例(9ヵ月)である。

症例およびHCT所見

【症例1¹⁾】11ヵ月，男児。

原疾患：Bochdalekヘルニア。

主訴および病態：呼吸性呼吸障害。患側肺の低形成および健側肺の過膨張(bronchopulmonary dysplasia)とそれによる縦隔の左方偏位を伴う。

気管支鏡(BF)所見：拍動性の壁外性圧迫を伴う気管軟化症を認めた。

3D-HCT所見(Fig.1)：縦隔の著しい左方への偏位に伴い，大動脈弓も左方に偏位したために伸展した無名動脈が気管を前方より圧迫していた。

3D-HCT所見からの術式選択：小児外科領域で最もしばしば遭遇する気管軟化症は食道閉鎖症術後によるものであるが，解剖学的位置関係に大きな異常を認めないために標準術式として一般に大動脈胸骨固定術が行われている。本症例では3D-HCT像より，著しい縦隔の左方偏位に伴い大動脈弓が解剖学的位置異常をきたしており，気管軟化症の外因性因子が無名動脈であることが明らかとなった。従って，大動脈胸骨固定術は根治術式にはなり得ず，無名動脈による圧迫解除が必要となる。また，縦隔偏位

の修正が患側肺の圧迫を解除し含気を増加させる上でも有効であると考えられた。

手術(Fig.2)および術後経過：Gore-Texグラフトを用いて無名動脈を延長して気管への圧迫を解除した。また，心嚢を胸骨に縫着して前縦隔に隔壁を形成した。術後，気管軟化症は軽減し，weaningへと向かった。

【症例2²⁾】1歳，女児。

原疾患：完全型心内膜床欠損，ダウン症。

主訴および病態：肺高血圧症，抜管困難症(4ヵ月時の肺動脈絞扼術以降)。

B F 所見：気管支分岐部から両側主気管支に亘って壁外性の圧迫を認め，内腔は呼吸時にはほぼ完全な閉塞した。気管・気管支軟化症と診断した。

3D-HCT所見(Fig.3)：左右の肺動脈が著明に拡張しており，右肺動脈が気管を前方より圧迫している。大動脈は肺動脈の前面にあり，肺動脈を介して気管を圧迫している。

3D-HCT所見からの術式選択：気管への外因性圧迫を解除するためには，その前方に存在する右肺動脈と同時に大動脈を吊り上げる必要があると考えられる。

手術及び術後経過：右肺動脈にテープを掛け，これを大動脈に縫着し，更に大動脈を通常の方法で胸骨に固定した。内視鏡下に気管気管支が拡張したのを確認したが，肺動脈流量あるいは肺動脈圧をモニターしなかったため，肺動脈挙上による狭窄をきたし肺血流量は低下し

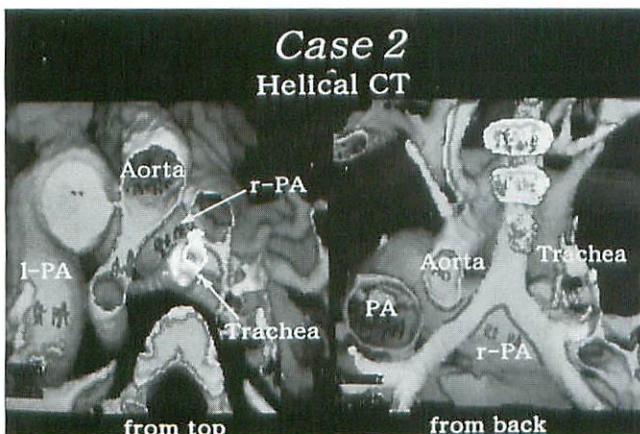


Fig.3 3D-HCT of Case 2

Both pulmonary arteries are markedly dilated and compress the trachea. The aorta is located in front of the right pulmonary artery and compresses the trachea indirectly.

た。術後の低酸素血症と非可逆的な肺高血圧のため、手術によって症状の改善はえられなかった。

【症例3】20歳、男子。

原疾患：痙直性四肢麻痺を伴う脳性麻痺。胸郭の扁平化を認める。

主訴および病態：呼吸性呼吸障害。気道感染を機に挿管したが、抜去不可能となった。

BF所見：気管分岐部より4 cm近位側に拍動性の壁外性圧迫を認め、気管軟化症と診断した。

3D-HCT所見 (Fig.4)：胸郭の扁平化により胸郭入口部は著しく狭く、この部で前後に並んだ気管および無名動脈は胸骨柄と椎体の間で強く圧迫されている。

3D-HCT所見からの術式選択：無名動脈による気管の圧迫の原因が胸郭の変形であることより、胸郭の形成術が第一選択と考えられた。しかし、手術侵襲が大きすぎるとの理由で家族の承諾が得られなかった。次善の策として内ステントの留置を試みたが、胸郭の変形に伴う気管支分岐角度の異常のために失敗した。次に気管切開し、狭窄部を越えて気管カニューレを留置した。しかし、カニューレにより後方から圧迫された無名動脈が壊死をきたし気管に穿通した。無名動脈を結紮切除して一命を取り留めた。3D-HCT画像を見直せば、胸郭を形成するか無名動脈を切離するしか気管への圧迫を解除する方法はないことがわかる。

手術：無名動脈切離後、右上肢の血流障害等

認めていない。現在、呼吸は気管切開孔から自発呼吸を行っている。

【症例4²⁾】9ヵ月、男児。

原疾患：前内側型横隔膜ヘルニア。

主訴：発作性の呼吸窮迫、肝機能異常。

胸部単純X線写真およびMRI (Fig.5)：呼吸窮迫に対するscreening studyとして撮影した胸部X線写真およびMRIで内側前方の横隔膜ヘルニアと診断した。

下大静脈造影 (Fig.6)：呼吸窮迫症状に一致して肝機能異常を認めたことより、横隔膜ヘルニアへの肝の嵌入が肝静脈あるいはinferior venacava (IVC) の閉塞をきたしている可能性を考え、IVC造影を行った。IVCは吸気時に横隔膜のレベルで遮断され、血流は短肝静脈を介する側副路に流れ、いわゆるBudd-Chiari症候群をきたしていた。

3D-HCT所見 (Fig.7)：前方に偏位したIVCが遮断され、血流は肝の表面あるいは肝内を走る側副血行を通してIVCあるいは右心房に還流していると読影した。

3D-HCT所見からの術式選択：経腹的アプローチでは横隔膜ヘルニアの前方でこの側副血行が視野を遮ると考え、右開胸による横隔膜修復術を行った。しかし、横隔膜欠損部は右胸腔よりむしろ前縦隔にあり、右胸腔からの修復は不十分であった。IVCがヘルニアへの肝の嵌入により遮断されていることから、ヘルニア門が主に前縦隔にあることを認識していれば経腹

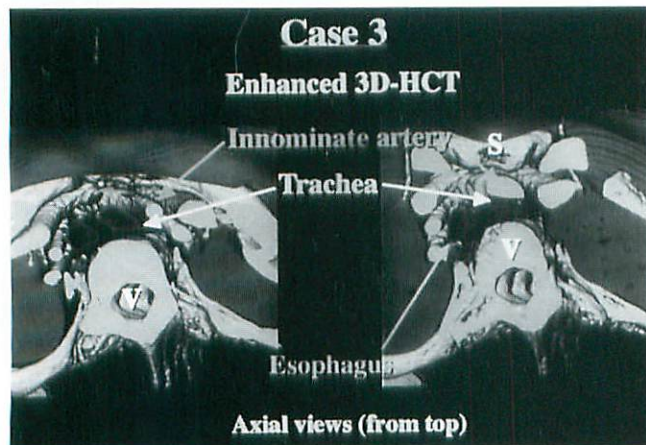


Fig.4 3D-HCT of Case 3

The thorax is flattened accompanied by narrowed thoracic inlet, where the trachea and innominate artery are compressed between the sternum and a vertebral body.

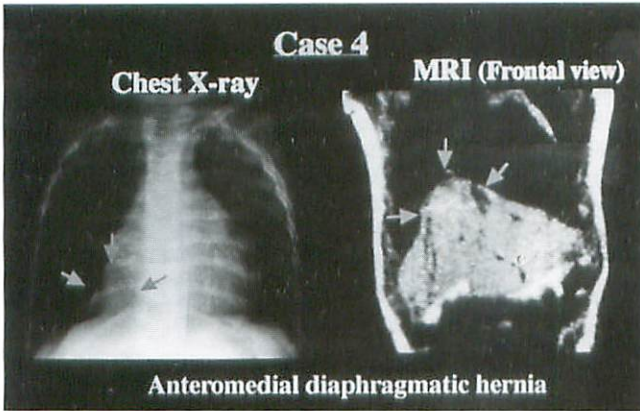


Fig.5 Chest X-ray and MRI of Case 4

An anteromedial diaphragmatic hernia is shown.

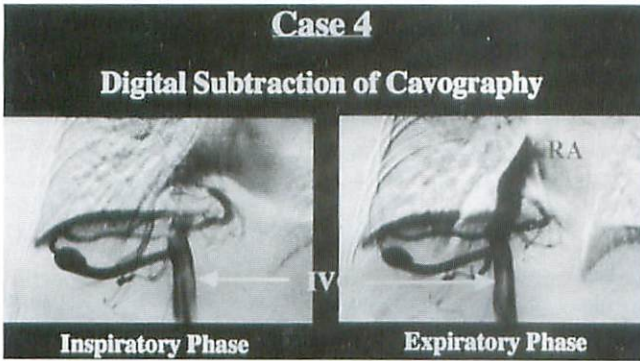


Fig.6 IVC-graphy of Case 4

IVC is obstructed intermittently at the level of diaphragm and blood flow goes to collateral veins via short hepatic veins.

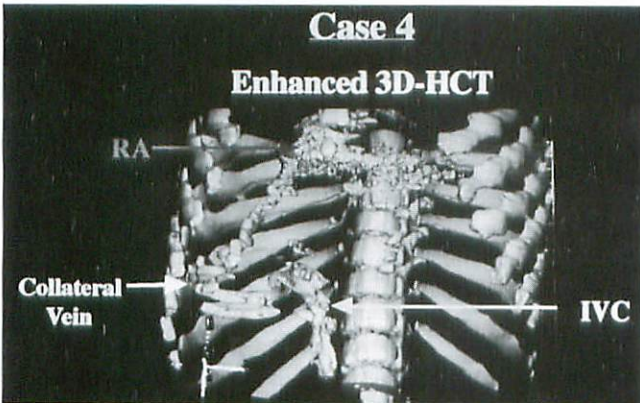


Fig.7 3D-HCT of Case 4

Anteriorly deviated IVC is obstructed and blood flow runs via collateral veins on or in the liver into the IVC or the right atrium directly.

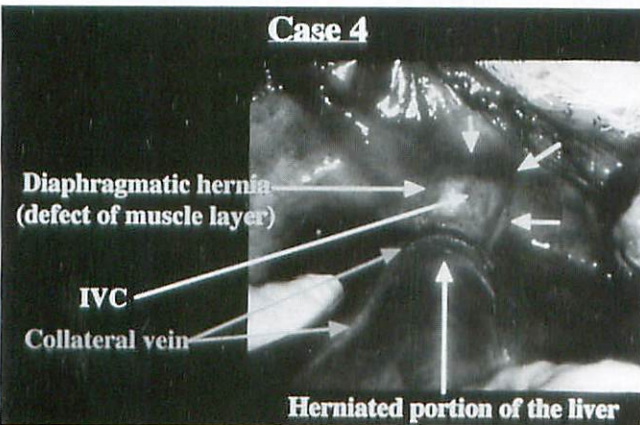


Fig.8 Case 4

A defect of the diaphragm is located bordering on IVC. The collateral veins run on the liver surface until draining into the IVC.

的アプローチが選択されたと思われる。

手術 (Fig.8) : 経腹的に手術を行った。側副血行はIVCに流入するまで肝の表面を走っており、肝と横隔膜あるいは右心房との間に血流はなく、横隔膜欠損部へのアプローチは極めて容易であった。前方に偏位したIVCに接してその前方に横隔膜の欠損を認めた。欠損部に一致して肝の突出を認めた。欠損部を一次的に閉鎖した。術後IVCの遮断は認められなくなり、肝機能異常の再燃もない。

3D-HCT画像で肝実質と側副血行路および側副血行路とIVCあるいは右心房との位置関係が描出できておれば、不要な手術は避けられたものと反省させられた。

考 察

小児の胸部疾患におけるHCTの適応は、前述の如く気管・気管支軟化症における外因性因子の評価以外に、気管気管支の形態異常の診断、転移性肺病変の検出、血管異常、肺分画症の診断などである。以下、これらについて概説する。

気管・気管支軟化症 : 本症は呼吸時に胸腔内圧上昇に伴って脆弱な気管気管支が狭窄ないし閉塞するものであるが、その病因は気管気管支自体の先天的な形成異常と外因性の圧迫とに分けられる。先天性形成異常は稀であり、大多数では食道閉鎖症、血管輪あるいは腫瘍など外因性因子が関与している³⁾。本症の確定診断およびその程度の評価は気管支ファイバーによってなされている³⁻⁵⁾。しかし、内視鏡検査は侵襲的であるために種々の非侵襲的検査法が開発されてきた。われわれは食道閉鎖症術後の気管軟化症の診断に気管側面の単純シネグラフィーを行ってきたが、これは非侵襲的に呼吸相による気管幅の変動を定量化でき、本症の診断および手術適応の決定を行う上で有用である⁶⁻⁸⁾。また、近年のシネCTの発達により本症に対する非侵襲的且つ定量的な診断が可能になった^{3,10)}。単純シネグラフィーは簡便であるが、周辺臓器の解剖学的位置異常が存在する場合には外因性因子の評価は不可能である。シネCT

は気管の動的变化を描出できると同時に周辺臓器の描出も可能であるが、立体的位置関係を明確にし、手術術式選択に寄与できるかという点においては3D-HCTに劣る。3D-HCTは任意の方向、任意の断面における三次元画像を再構築できるので、周辺臓器との位置関係の診断、すなわち気管・気管支軟化症においては外因性因子の評価にとって最も有用な方法と考えられる。

気管・気管支の形態異常 : モーションアーチファクトが無視できる程度の大きさの形態異常であればHCTあるいはその3D-HCTが適応となる。成人においては、気管気管支壁と内腔とのCT値の違いを利用したHCTによる三次元気管内視法が可能となった^{11,12)}。小児でも呼吸運動に対応できるようになれば、侵襲の大きな気管支内視鏡検査に取って代わられるものと思われる。

肺転移巣の検出 : HCTは体軸方向に連続した情報が得られているため、理論上スライス幅より小さな転移巣でも検出可能である。従来のCTで描出されない微小病変が描出できたとの報告がある¹³⁾。呼吸停止のできない小児においては呼吸運動とCT台の移動方向が反対の場合には相対的にCT台の移動速度は速くなり、逆に同じ向きの場合には相対的速度は遅くなり、分解能あるいは検出能の低下をきたすものと考えられる¹⁴⁾。呼吸運動を減らすことにより検出率はある程度向上するが、呼吸運動に同期してCT台を移動させる方法の開発が望まれる。

血管の異常 : 大血管の走行異常、形態異常はHCTの3D-HCTあるいはmaximum intensity projection (MIP) によって良好な画像が得られる。特にMIPは血管の連続性の評価に優れている。これらの画像表示は侵襲の大きな血管造影にとって代われつつある。

肺分画症 : 肺分画症は正常気管支分布がないこと、および大動脈から直接の動脈支配があることによって診断されるが、3D-HCTでは1回の検査で気管支、肺血管像および大動脈からの異常動脈と周囲の下大静脈、椎体や門脈と

の空間的位置関係が明瞭に描出できるので、肺分画症の診断が容易にでき、侵襲の大きい気管支造影や血管造影を不要なものとする¹⁵⁾。

【提示した症例1,2は本誌12巻1号に既に報告していることをお断り致します】

●文献

- 1) 窪田昭男, 米倉竹夫, 野瀬恵介, 他: 気管気管支軟化症におけるヘリカルCT像—外因性圧迫の診断に有用であった2症例. 日小放誌 1996; 12: 68-73.
- 2) Yonekura T, Kubota A, Hoki M, et al: Intermittent obstruction of the inferior vena cava by congenital anteromedial diaphragmatic hernia: An extremely rare case of Budd-Chiari syndrome in an infant. Surgery 1998; 124: 109-111.
- 3) Filler RM: Tracheomalacia. Pediatric Thoracic Surgery, 163-169, Ed by Fallis JC et al, Elsevier, 1991.
- 4) Blair GK, Cohen R, Filler RM: Treatment of tracheomalacia: Eight years' experience. J Pediatr Surg 1986; 21: 781-785.
- 5) 津川 力, 連 利博, 西島栄治, 他: 気管気管支軟化症: 診断と治療方針. 小児外科 1990; 22: 87-92.
- 6) 中井澄雄, 井村賢治, 長谷川利路, 他: シネグラフィーによる幼若乳児の機能的気管狭窄の評価の試み. 臨床小児放射線研究会雑誌 1985; 1: 220-221.
- 7) 窪田昭男, 岡田 正, 川原央好, 他: 食道閉鎖症根治術後における再手術—再発および合併症に対する手術. 小児外科 1987; 19: 731-740.
- 8) 安永国広, 川東憲治, 横井章容, 他: 乳幼児の呼吸困難に対する動的検査としての気管単純シネグラフィーの有用性について. 大阪府立母子保健総合医療センター雑誌 1991; 7: 174-178.
- 9) Frey EE, Smith WL, Grandgeorge S, et al: Chronic airway obstruction in children; Evaluation with cine CT. Am J Radiol 1987; 148: 347-352.
- 10) Kimura K, Soper RT, Kao SCS, et al: Aortopexy for tracheomalacia following repair of esophageal atresia: evaluation by cine-CT and technical refinement. J Pediatr Surg 1990; 25: 769-772.
- 11) 原 眞咲, 荻原浩幸, 石川浩太, 他: らせんCT (スパイラルCT) を用いた3DCTによる気道病変の診断. 臨床放射線 1995; 40: 803-813.
- 12) 田村研治, 梁 尚志, 楠 洋子, 他: 肺の中核気道の病変における3次元CTの有用性について. 臨床放射線 1995; 40: 31-37.
- 13) Costello P, Anderson W, Blume D: Pulmonary nodule: evaluation with spiral volumetric CT. Radiology 1991; 179: 875-876.
- 14) 西川正則: 小児疾患におけるらせんCTの適応. 日小放誌 1994; 10: 32-46.
- 15) 青木克彦: 小児疾患におけるらせんCT. 日小放誌 1996; 12: 131-136.