

Fig. 1 Portography from the superior mesenteric vein. A, Portography before balloon dilatation showed hepatofugal flow of the splenic vein without visualizing the intrahepatic portal vein. B, Portography after balloon dilatation visualized the intrahepatic portal vein but showed hepatofugal flow of the splenic vein. C, Portography after B-RTO provided good visualization of the intrahepatic portal vein without demonstrating the splenic vein.

successfully treated with balloon-occluded retrograde transvenous obliteration (B-RTO). The case was a 2-year-old boy who underwent living-donor liver transplantation at 6 months of age with a paternal left lateral segment graft owing to liver cirrhosis of unknown etiology. The postoperative course was uneventful; however, his platelet count gradually decreased to $5 \times 10^4/\mu\text{L}$, and his serum ammonia level increased to $130 \mu\text{g/dL}$ at 2.5 years of age. Liver function tests were normal (total bilirubin, 0.79 mg/dL ; aspartate aminotransferase, 48 IU/L ; alanine aminotransferase, 17 IU/L). A graft liver biopsy showed no evidence of rejection, cholangitis, or fibrosis. Doppler ultrasonography showed the flow volume of the graft portal vein to decrease to 45 mL/min . Abdominal computed tomography revealed portal vein stenosis with portosystemic shunting, which was not detected in the pretransplant evaluation. Hyperammonemia persisted de-

spite treatment with protein restriction and medication, and interventional radiologic treatment was therefore indicated. Percutaneous transhepatic portography revealed portal vein stenosis (pressure gradient, 6 mm Hg) with a significant gastrorenal shunt (Figs. 1A and 2A). Although the intrahepatic portal vein could be visualized after the successful balloon dilatation of the stenotic portal vein, portography showed a hepatofugal flow of the splenic vein owing to the flow going into the remnant gastrorenal shunt (Figs. 1B and 2B). Theoretically, treating the portal vein stenosis should have resolved the issue and decompressed the shunt. Balloon-occluded retrograde transvenous obliteration was initiated to increase the portal flow by occluding the gastrorenal shunt after balloon dilatation. The balloon catheter was inserted into the gastrorenal shunt via the right femoral vein, and 5% ethanolamine oleate with iopamidol (total, 7 mL , 0.5 mL/kg) was injected into

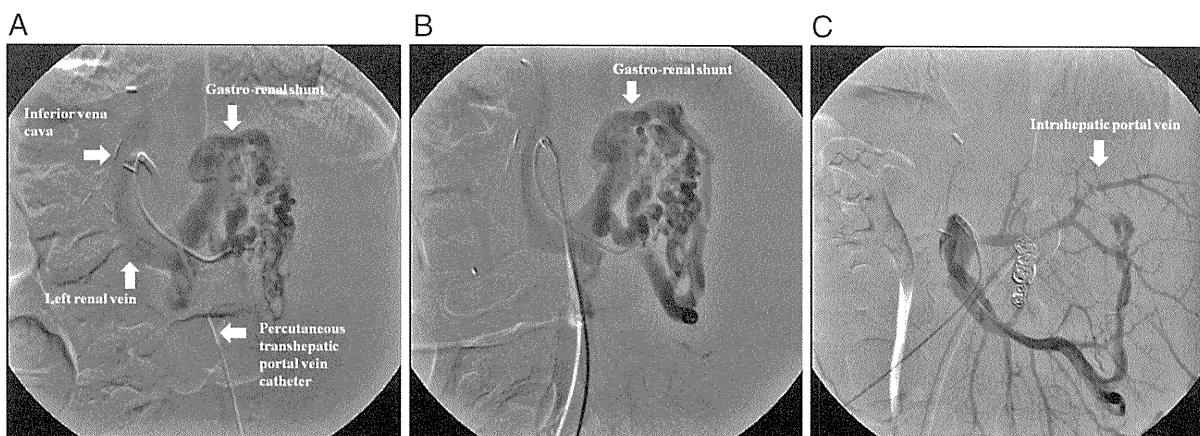


Fig. 2 Portography from the splenic vein. A, Portography before balloon dilatation showed a large gastrorenal shunt draining into the left renal vein without visualizing the intrahepatic portal vein. B, Portography after balloon dilatation also showed a large gastrorenal shunt without visualizing the intrahepatic portal vein. C, Portography after B-RTO showed hepatopetal flow of the splenic vein without visualizing the gastrorenal shunt.

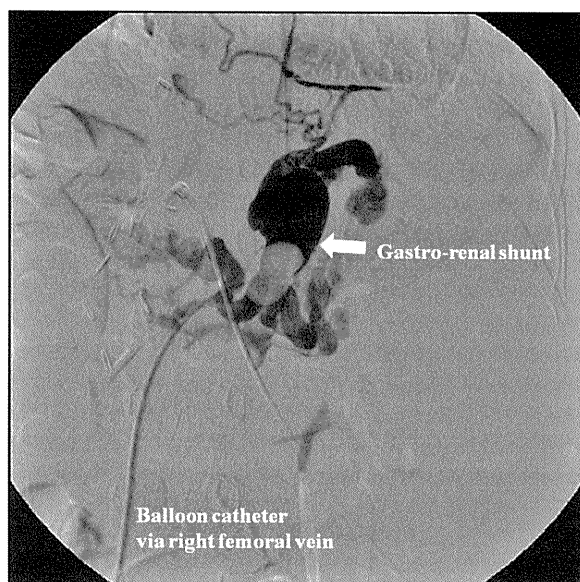


Fig. 3 A balloon catheter was inserted into the gastrorenal shunt via the right femoral vein and inflated to occlude the outflow. A total of 7 mL of 5% ethanolamine oleate with iopamidol was injected into the gastrorenal shunt.

the gastrorenal shunt after the placement of coils (Fig. 3). The balloon remained inflated for 2 hours to prevent the sclerosant from flowing out of the left renal vein. After B-RTO, portography showed hepatopetal flow of the splenic vein and disappearance of the large collateral vessel (Figs. 1C and 2C). The flow volume of the portal vein by Doppler ultrasonography increased to 365 mL/min after B-RTO. Subsequently, the level of ammonia decreased to the normal range (32 $\mu\text{g/dL}$), and thrombocytopenia improved ($12 \times 10^4/\mu\text{L}$) by one week after B-RTO. The portal blood flow was sufficient without the further development of a portosystemic shunt 1 year 8 months after the successful B-RTO.

1. Discussion

Portal hypertension after liver transplantation may be caused by several factors, such as rejection, cholangitis, recurrent cirrhosis, and portal vein stenosis, which can lead to the formation of a significant portosystemic shunt [4]. Post-liver transplant portal vein stenosis has been documented in 3% to 8% of pediatric patients [3,5]. Balloon dilatation is currently the first therapeutic option for portal vein stenosis. Although the success rate of balloon dilatation alone for portal vein stenosis has been reported to be 77.8% to 83%, the recurrence rate is relatively high (28.6%-33%) [6,7]. In cases of recurrent and elastic portal vein stenosis, stent placement is usually indicated. However, there are several potential complications, such as stent-edge stenosis and occlusion, that can result from graft growth [6,7].

In our case, although the pressure gradient across the stenosis was mild, huge collateral vessels were observed to exist. Moreover, the flow of the splenic vein remained as a hepatofugal flow even after performing portal venoplasty. Funaki et al [8] considered more than a 5-mm Hg pressure gradient across the stenosis to be abnormal. However, Godoy et al [9] and Park et al [6] reported that, in spite of the significant pressure gradient decrease after portal venoplasty, the clinical symptoms still persisted. Therefore, the pressure gradient across the stenosis is not considered to correlate with the clinical symptoms. In such cases, if a portosystemic shunt exists, then it needs to be treated. For example, the portosystemic shunt can cause the steal phenomenon of the portal blood flow, and it might result in graft dysfunction because of an insufficient blood supply to the graft. Therefore, treatment of the shunt vessels is recommended. There are 2 interventional procedures for portosystemic shunts: percutaneous transhepatic obliteration and B-RTO [10,11]. Percutaneous transhepatic obliteration occludes the feeding veins of the portosystemic shunt. In most cases, there are multiple feeding veins for the portosystemic shunt. Therefore, it is not surprising that percutaneous transhepatic obliteration has a high recurrence rate (40%) in comparison with B-RTO because of insufficient injection of the occlusive substances into the portosystemic shunt [11]. The B-RTO technique is performed by inserting a balloon catheter into the drainage vein through the inferior vena cava. The drainage vein was then obliterated using a sclerosing agent. In adult cases, the eradication rate of gastric varices exceeded approximately 90%, and recurrence rate was less than 7% [10,12]. Therefore, in cases where the drainage vein can be approached from the inferior vena cava side, B-RTO is the first option for the treatment of a portosystemic shunt.

There have been 3 case reports that described the effectiveness of B-RTO after adult liver transplantation, and this is the first report of successful B-RTO after pediatric liver transplantation [13-15]. Balloon-occluded retrograde transvenous obliteration may represent a safe, effective, and minimally invasive interventional radiology technique for portosystemic shunts, even for pediatric post-liver transplant patients. Balloon-occluded retrograde transvenous obliteration should be considered when it can be used to easily approach the drainage vein and occlude it with a balloon catheter. Long-term observation may be necessary to collect sufficient data to definitively establish this treatment modality, especially in pediatric patients.

References

- [1] Edward EA. Functional anatomy of the porta-systemic communications. *Arch Intern Med* 1951;88:137-54.
- [2] Kasahara M, Takada Y, Kozaki K, et al. Functional portal flow competition after auxiliary partial orthotopic living donor liver transplantation in a non-cirrhotic metabolic liver disease. *J Pediatr Surg* 2004;39:1138-41.

- [3] Miraglia R, Maruzzelli L, Caruso S, et al. Interventional radiology procedures in pediatric patients with complications after liver transplantation. *Radiographics* 2009;29:567-84.
- [4] Malassagne B, Soubrane O, Dousset B, et al. Extrahepatic portal hypertension following liver transplantation: a rare but challenging problem. *HPB Surg* 1998;10:357-63.
- [5] Ueda M, Oike F, Kasahara M, et al. Portal vein complications in pediatric living donor liver transplantation using left-side grafts. *Am J Transplant* 2008;8:2097-105.
- [6] Park KB, Choo SW, Do YS, et al. Percutaneous angioplasty of portal vein stenosis that complicates liver transplantation: the mid-term therapeutic results. *Korean J Radiol* 2005;6:161-6.
- [7] Shibata T, Itoh K, Kubo T, et al. Percutaneous transhepatic balloon dilation of portal venous stenosis in patients with living donor liver transplantation. *Radiology* 2005;235:1078-83.
- [8] Funaki B, Rosenblum JD, Leef JA, et al. Portal vein stenosis in children with segmental liver transplants: treatment with percutaneous transhepatic venoplasty. *AJR Am J Roentgenol* 1995;165:161-5.
- [9] Godoy MA, Camúñez F, Echenagusia A, et al. Percutaneous treatment of benign portal vein stenosis after liver transplantation. *J Vasc Interv Radiol* 1996;7:273-6.
- [10] Arai H, Abe T, Takagi H, et al. Efficacy of the balloon-occluded retrograde transvenous obliteration, percutaneous transhepatic obliteration and combined techniques for the management of gastric varices. *World J Gastroenterol* 2006;12:3866-73.
- [11] Kameda N, Higuchi K, Shiba M, et al. Management of gastric fundal varices without gastro-renal shunt in 15 patients. *World J Gastroenterol* 2008;14:448-53.
- [12] Kanagawa H, Miwa S, Kouyama H, et al. Treatment of gastric fundal varices by balloon-occluded retrograde transvenous obliteration. *J Gastroenterol Hepatol* 1996;11:51-8.
- [13] Kinjo N, Kawanaka H, Tomikawa M, et al. B-RTO for ectopic variceal bleeding after living donor liver transplantation. *Hepatogastroenterology* 2008;55:241-3.
- [14] Kim JH, Ko GY, Sung KB, et al. Transvenous variceal embolization during or after living-donor liver transplantation to improve portal venous flow. *J Vasc Interv Radiol* 2009;20:1454-9.
- [15] Yokoyama S, Kasahara M, Fukuda A, et al. Balloon-occluded retrograde transvenous obliteration in a patient with hyperammonemic encephalopathy after living donor liver transplantation. *Liver Transpl* 2007;13:1201-2.

特 集

一般小児科外来における超音波活用法

腹部救急疾患を見極める

国立成育医療研究センター放射線診療部 野坂 俊介、正木 英一

はじめに

日常の小児科診療において、腹部超音波検査は、正しく行われれば極めて有用な診断ツールとなる。まさに、聴診器と同じで、無害で気軽にできる検査法である。しかし、聴診器を使う際に病的な音を聴いても、それをタイムリーかつ正確に解析できなければ、全く役立たない。これと同じことが超音波検査にも当てはまる。すなわち、超音波検査で得られる所見の全て（陰性所見および陽性所見）が、検査を行う術者に全面的に依存するのである。

超音波検査は、正しい条件で、正しいスキャンが、正しい範囲で行われ、正しく解析され、さらに解析に用いた画像が正しく保存されていなければ、行わない方が良かったという場合もあり得る、という検査であることを銘記すべきである。

本稿では、一般小児外来における超音波活用法のうち、腹部救急疾患について、画像診断を主な仕事とする立場から、これまでの経験を基に日頃

から注意している点を中心に述べることにする。

超音波検査の利点と欠点

超音波の利点は、なんといっても放射線被曝がないことである。そして、他の画像診断装置と比較して極めてコンパクトであるため、どこでも検査が可能であることも利点といえる。後述するが、体格が小さく、体脂肪が少ない小児では、高周波探触子を使用することで高分解能な画像が得られる点も重要な利点といえる。また、血流情報や、病変と隣接臓器との関係をリアルタイムに評価できることも他の画像診断検査法と比較して利点となる。

一方、超音波検査の欠点は、画像の質が術者に大きく依存することである。また、病変が大きい場合に全体像を把握しにくいこと、患児の体格が大きく脂肪織が多い場合に十分な検査ができない場合があることなども欠点といえる。

実際には、利点を最大にし、欠点を最小限にす

るよう、考慮しながら検査を行うことになる。日頃から積極的に超音波検査を活用することが技術向上に極めて重要である。

なぜ、小児腹部は超音波検査なのか？

一口に「小児」といっても、対象となる年齢は新生児から18歳までと幅広い。体格だけを見ると、18歳近くになると、成人と同じか、時に成人より大きくなる場合もある。学童期以下の患児では、成人と異なり、一般的に体脂肪が少なく、検査対象となる臓器の大きさが小さい、といった身体的な特徴がある。これらの特徴は、超音波検査を行う際に有利に働く。すなわち、高周波探触子を使用できることから、高分解能な画像が得ら

れる。新生児や乳児であれば、超音波で後腹膜を含めた腹部全体を評価することができる（消化管ガスにより走査しにくいこともあるが、時間をおいての再走査や探触子による注意深い圧迫で深部の評価が可能になることもある）。

高周波探触子による評価が最も有効なのは、消化管である。特に虫垂は、コンベックス型探触子では、低エコー域としてしか認識できないが、高周波探触子で観察すると壁構造および隣接する消化管との関係が明瞭となり評価しやすくなる(図1a、b)。腸重積は、コンベックス型探触子でも診断可能であるが、高周波探触子でもスキャンすることで、重積腸管の性状や腸間膜リンパ節などが容易に評価できる(図2a、b)。

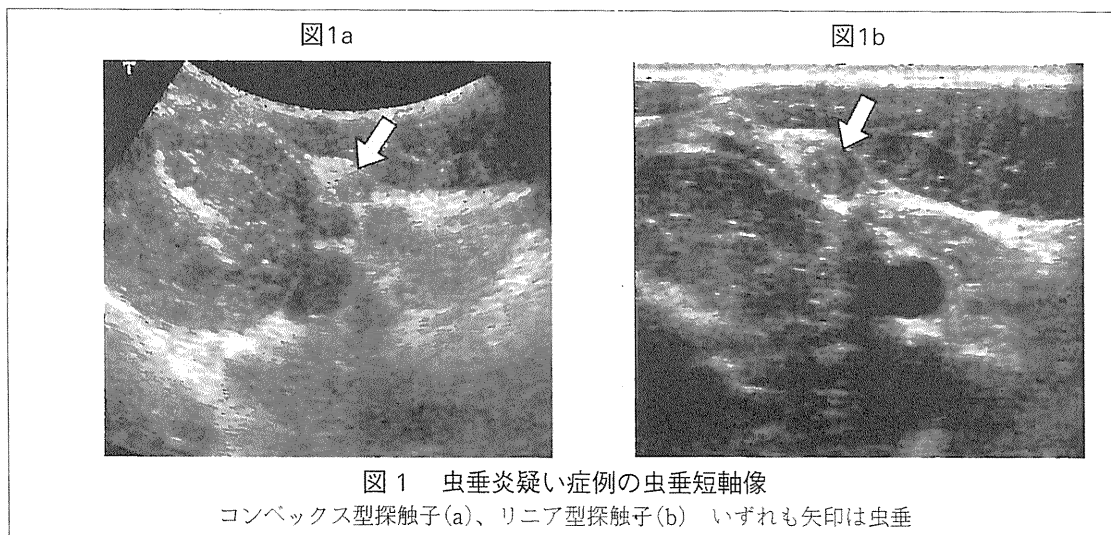


図1 虫垂炎疑い症例の虫垂短軸像
コンベックス型探触子(a)、リニア型探触子(b) いずれも矢印は虫垂

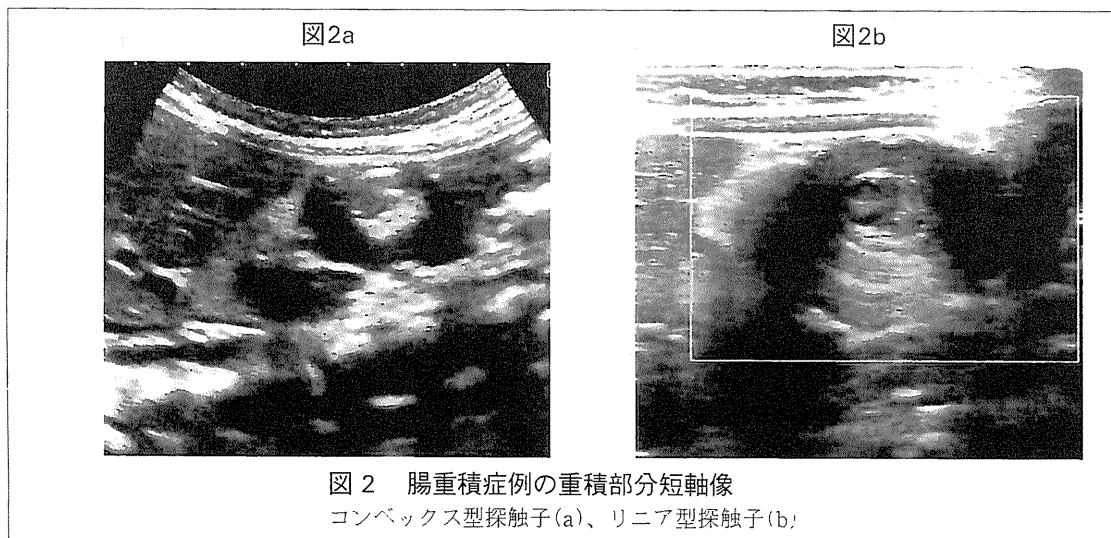


図2 腸重積症例の重積部分短軸像
コンベックス型探触子(a)、リニア型探触子(b)

小児腹部救急疾患における超音波検査の実際

超音波検査には、精査を目的とした検査、ならびに外来患者を診ながら気になった部分を簡単に評価する検査があるが、ここでは精査を目的とした検査について解説する。精査を目的とした検査の手順を習得していれば、気になった部分を簡単に評価するといった検査も正しく行うことができる。

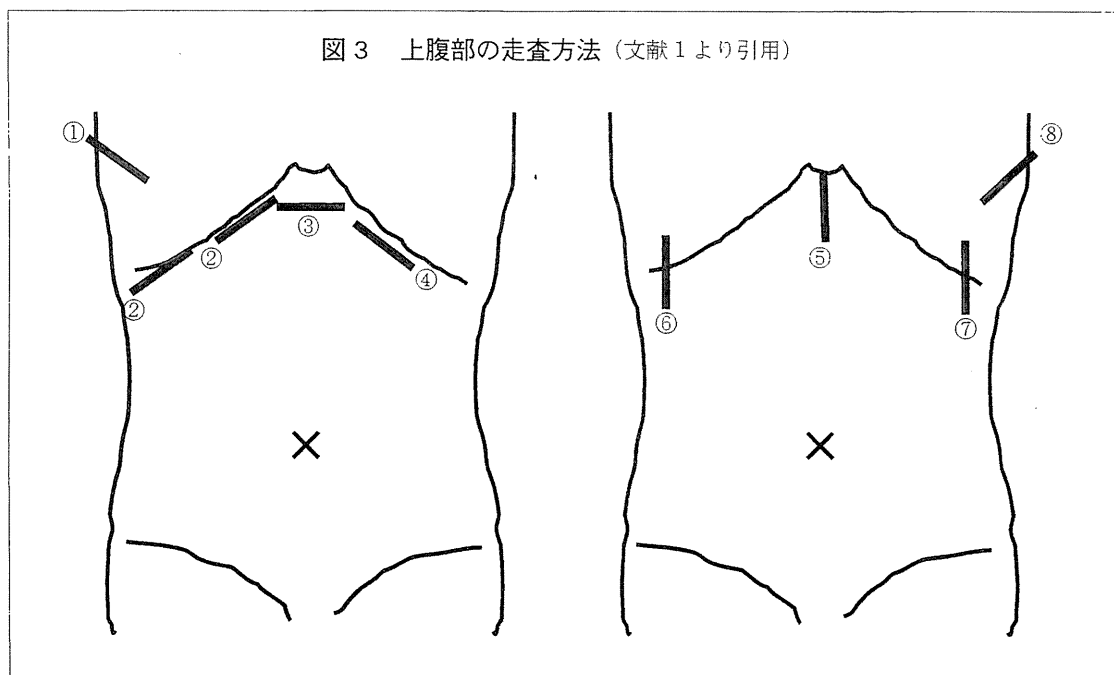
普段から、得られた画像を保存するようにすると、後方施設への紹介の際にも質の高い画像情報を提供することができる。

以下、外来で遭遇する可能性がある、新生児黄疸、新生児嘔吐、腸重積を疑う間歇的腹痛/粘血便、先天性胆道拡張症を疑う右上腹部痛/腫瘤、尿路感染症などを考慮し、肝胆道系、消化管、腎臓および膀胱の走査手順につき解説する。これらは、あくまでも参考であり、重要なのは、常に自分で決めた手順を守って検査を行うことで、これにより見落としが少なくなると思われる。

肝胆道系

肝臓を観察する際の走査方法には、図3に示したとおりで、①右肋間走査、②右肋骨弓下横走査、③心窩部横走査、④左肋骨弓下横走査、⑤心窩部縦走査、⑥右肋骨弓下縦走査、⑦左肋骨弓下縦走査、⑧左肋間走査、等がある¹⁾。これらの方法で肝臓全体を一般的な区域分類であるCouinaudの8区域(図4、表1)を参考に、隅々まで観察するように心がける。走査の際には、肝のエコー輝度、表面、エッジ、肝内脈管構造などを評価する。特に、肝臓の大きさ、肝内胆管の拡張の有無、腫瘤性病変の有無、などに重点を置いた観察が重要である。肝臓の大きさの評価に関して、筆者らは、横田ら²⁾の報告を参考にしている。

胆道系は上記の②右肋骨弓下横走査や⑥右肋骨弓下縦走査を主体に観察する。胆嚢は胆嚢に対する縦断と横断それぞれの断面で評価する。総胆管は、胆嚢の内側で門脈本幹に伴走するため、その走行に平行な断面(⑥右肋骨弓下縦走査をやや斜にした走査)での評価が有用である。仰臥位で評価しにくい場合は、左下側臥位で走査するとよい。



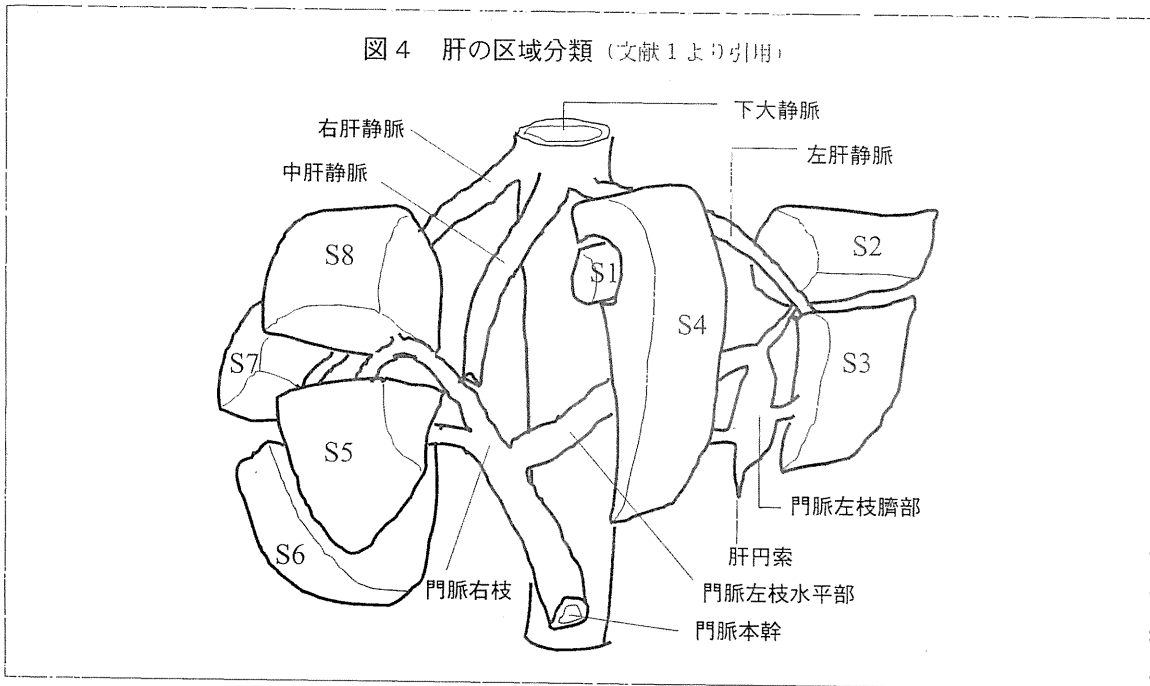
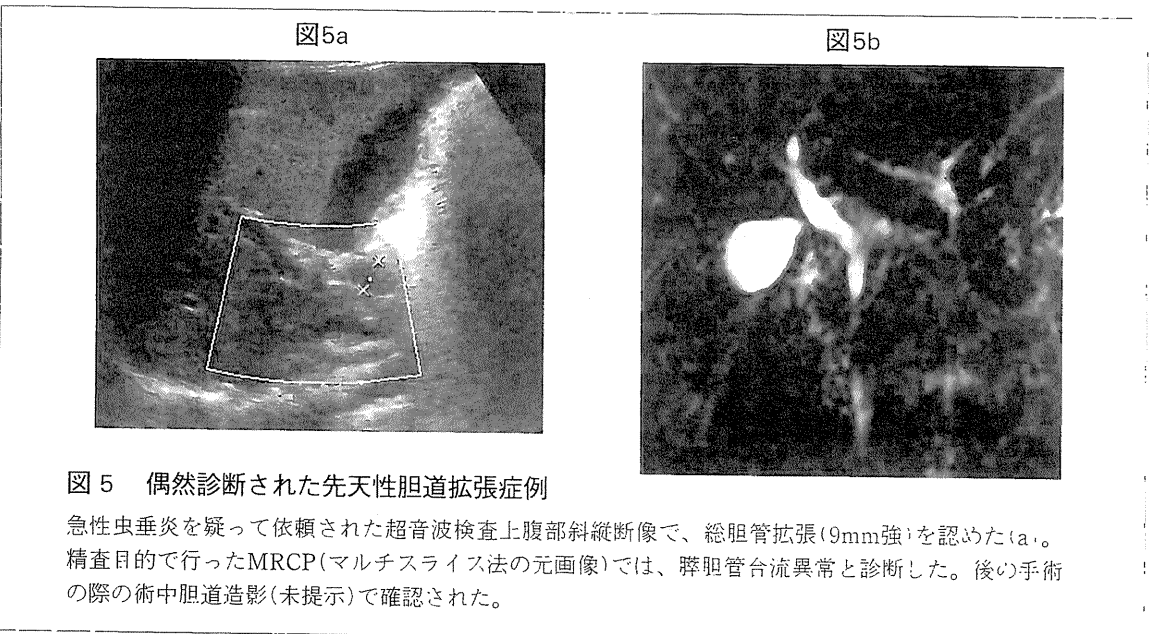


表1 Couinaudの肝区域分類 (文献1より引用)

- S1 尾状葉
- S2 肝左葉外側上区域
- S3 肝左葉外側下区域
- S4 肝左葉内側区域
- S5 肝右葉前下区域
- S6 肝右葉後下区域
- S7 肝右葉後上区域
- S8 肝右葉前上区域

総胆管径は先天性胆道拡張症や肝外胆管閉塞の診断において重要となる(図5a, b)が、筆者らが参考にしてている年齢別正常径を表2に示す。

新生児期ならびに乳児期の黄疸で胆嚢が不明瞭か小さい、総胆管が不明瞭、といった場合は肝門部高エコー(triangular cord sign)の有無、肝動脈拡張の有無や脾腫の有無を観察し、迅速に胆道閉鎖症の診断(図6a, b)あるいは除外をする必要がある。表3に胆道閉鎖症の診断に役立つ超音



波検査所見をまとめた。Takamizawaら⁶⁾は、胆道閉鎖症はtriangular cord signと胆嚢長径と胆嚢収縮能を組み合わせることで正確に診断あるいは除外でき、十二指腸液検査や核医学検査は必要ないとしている。

表2 超音波検査における正常総胆管径

(文献3より一部改)

縦断像において正常値は各年齢で下記の数値を超えない

新生児	1 mm
～1歳	2
1～10歳	4
思春期以降	6

図6a

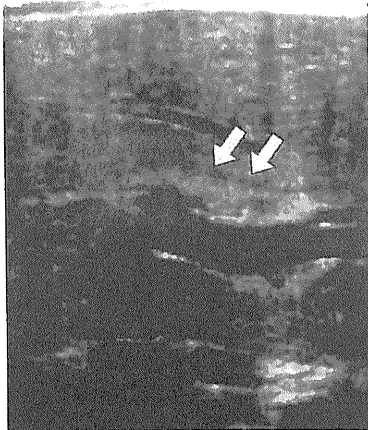


図6b



図6 胆道閉鎖症の超音波所見

リニア型探触子による肝門部横断像では、門脈右枝前方に高エコー帯(矢印)を認め(a)、厚さは5.2 mmでtriangular cord sign陽性と判断できる。また、右肝動脈は径2.7 mmと拡張を認める(b)。

表3 胆道閉鎖症の超音波所見(文献4より一部改)

所見・sign	診断基準
triangular cord *1	門脈右枝近位で前区域枝と後区域枝の分岐部直前で門脈前方の三角形あるいは帯状高エコー 縦断像あるいは横断像で評価 厚さ>4 mm
胆嚢の異常*2	
胆嚢の大きさ	3時間以上の禁乳での計測で長軸径15 mm未満、あるいは胆嚢が描出されない
胆嚢収縮	授乳後有意な胆嚢収縮を認めない
肝動脈拡張*3	右肝動脈径>1.5 mm 右肝動脈径/門脈右枝径>0.45
総胆管の異常	門脈本幹前方に総胆管を認めない 高周波探触子を用い、カラードプラで肝動脈と区別

*1: 文献5)を参考に一部改。8MHz以上の周波数のリニア型探触子で評価。

*2: 文献6)を参考に一部改。

胆嚢収縮率(%)=禁乳時胆嚢容積-授乳後胆嚢容積/禁乳時胆嚢容積×100

胆嚢容積=0.52×短軸径×短軸径×長軸径

胆嚢収縮率は、生後12週未満では86%±18%(平均±SD)未満を有意と判断。

*3: 文献7)を参考にした。5-10MHzの探触子を用いて、右肝動脈近位部で門脈右枝と平行して走行する。

部分を計測する。右肝動脈径は、前壁の中央から後壁の中央の間を計測する。

門脈右枝は、右枝前区域枝と後区域枝の分岐点の近位で計測する。

肝動脈拡張と総胆管不描出の組み合わせでさらに診断能が向上する。

消化管

肥厚性幽門狭窄症（図7a、b）は新生児期の非胆汁性噴水状嘔吐の場合に念頭に置く疾患である。幽門管の描出は、胃を同定して幽門側に向かって幽門管を同定する場合と、胆嚢の内側を注意深く観察し十二指腸球部を参考に幽門管を同定する場合がある。いずれの方法でも良いが、児をやや右向き（左前斜位）として検査すると幽門前庭が胃内の液体で満たされ、評価しやすくなる。表4に肥厚性幽門狭窄症の超音波所見を示す。

表4 肥厚性幽門狭窄症の超音波所見
(文献8より一部改)

幽門筋層厚	3 mm以上
幽門管長	17 mm以上
胃蠕動の亢進	
胃内容の停滞	
幽門管内腔が開かない	
肥厚した筋層血流の増加	

腸回転異常に伴う中腸軸捻転は新生児期の胆汁性嘔吐の鑑別診断では常に念頭に置くべき疾患である。超音波検査では、十二指腸球部の拡張を認めるが、中腸軸捻転に特徴的な所見ではない⁹⁾。中腸軸捻転では、腸管のみならず腸間膜血管も捻転しており、上腸間膜動脈と上腸間膜静脈の走行評価が役立つ⁹⁾。患児を下方（尾側）からみた場合、中腸軸捻転は、捻転が時計方向であることから、上腹部横断像で注意深く圧迫しながら走査すると、上腸間膜動脈を中心に上腸間膜静脈の時計方向回転を確認できる（clockwise whirlpool sign）（図8a、b）。中腸軸捻転の超音波診断には熟練を要するので、いたずらに時間を費やすのは慎むべきである。

腸重積（図2a、b）は、回結腸型が最多である。超音波検査が導入された初期の頃は、重積腸管は“sonolucent doughnut”とか“pseudokidney”といわれていた（図2a）が、リニア型高周波探触子の導入により、重積腸管の個々の層が認識可能となり（図2b）、短軸像では、円形腫瘍で“concentric rings”といわれる¹⁰⁾。検査の実際は、探触子で腹部を注意深く圧迫しながら大腸の走行

図7a



図7b

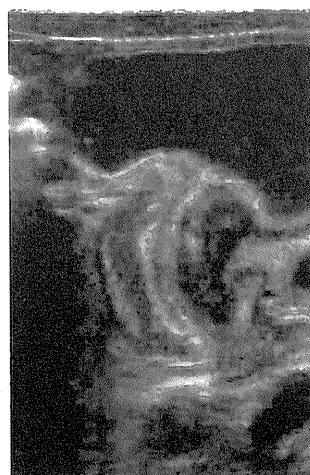


図7 肥厚性幽門狭窄症の超音波所見

幽門部短軸像(a)では、幽門筋は厚さ5.5mmと肥厚している。幽門部長軸像(b)では、幽門管長18.8mmと延長している。

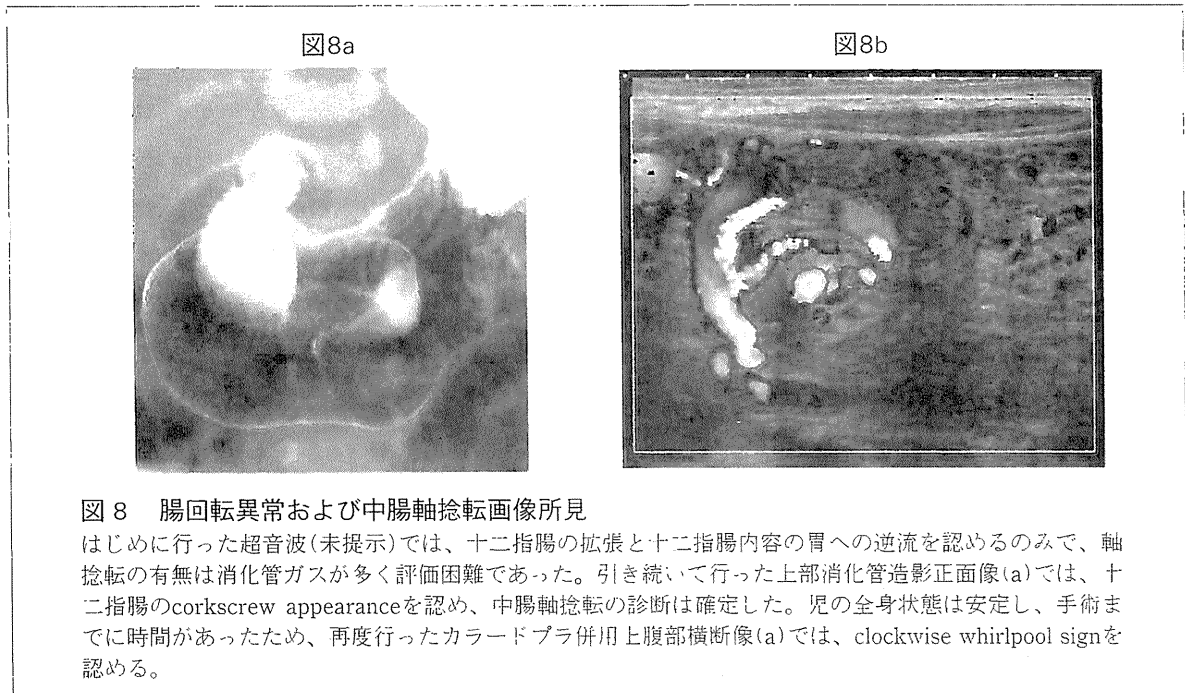
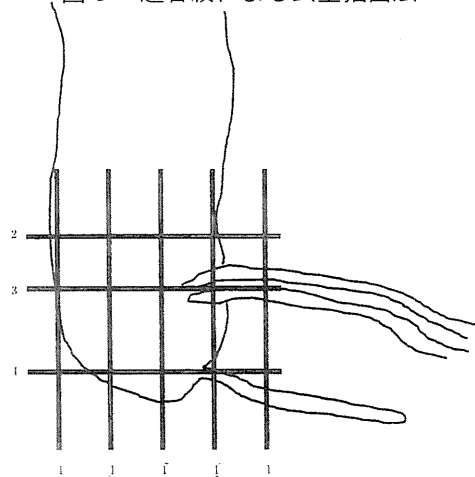


表5 超音波検査による急性虫垂炎の診断基準
 (文献12より引用)

- 最強圧痛点に一致
- 盲腸から連続
- 盲端に終わる
- 液体を含んだ管腔構造物
- 短軸径が6 mm以上
- 探触子による圧迫で形状不変
- その他：虫垂結石，腸間膜リンパ節腫大

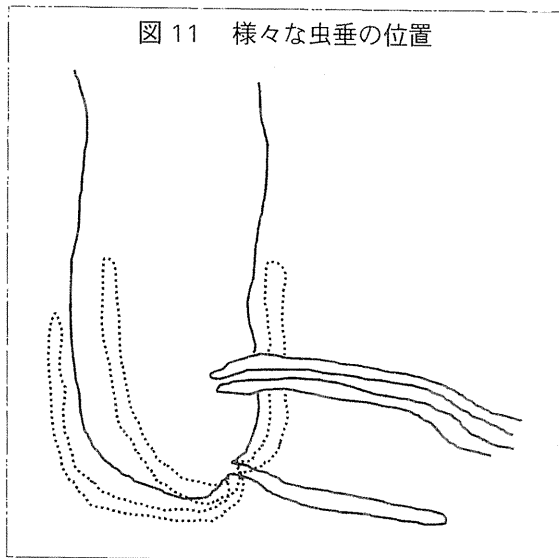
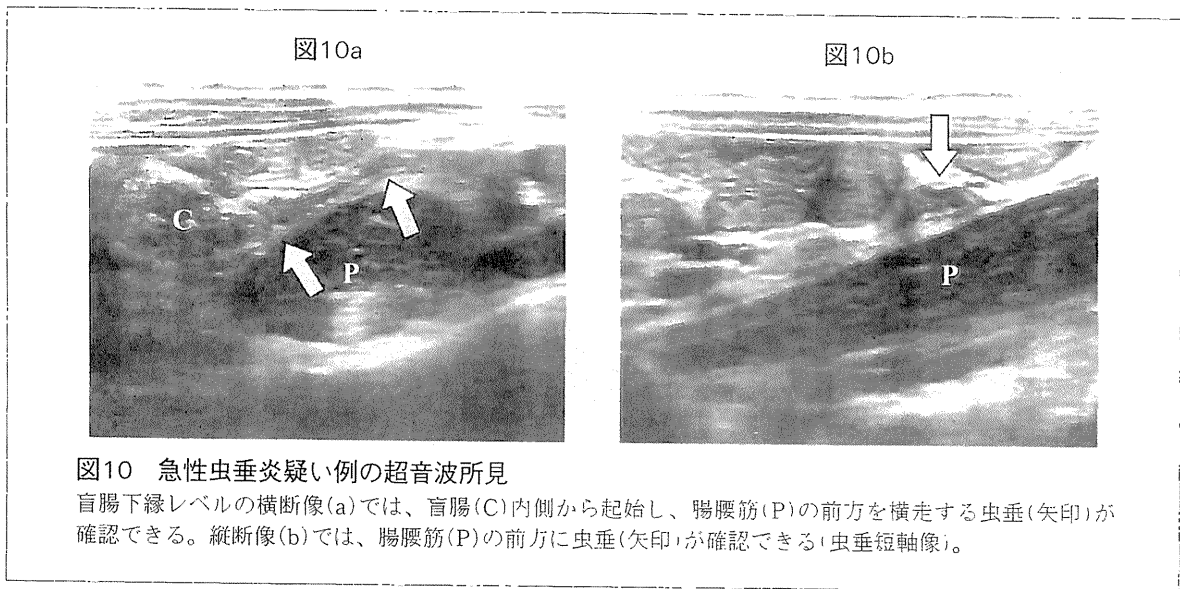
図9 超音波による虫垂抽出法



を念頭に置いて被検患児の右から左に走査し、腹部ならびに骨盤腔全体を評価する¹⁰⁾。

急性虫垂炎は、小児領域の緊急手術の中で最も頻度が高いが、急性虫垂炎全体の1/3が非典型的な経過を示す¹¹⁾。表5に超音波検査による急性虫垂炎の診断基準を示す。最強圧痛点での走査が重要であるが、正常虫垂を含めた虫垂の描出方法の一つ(図9)として、まず①縦断走査で盲腸下縁を同定し、②上行結腸の横断走査で下方に向かい、③回盲弁(パウヒン弁)を同定し、④さらに

下方の内側方向に虫垂根部を同定(図10a)し、続いて虫垂の短軸像(①縦断走査をさらに内側で実施)(図10b)ならびに長軸像で虫垂全体を評価する、という方法もある。虫垂根部から盲端に向かう方向は様々で、内側に向かう場合から下方に向かう場合、さらには盲腸内側・背側・外側を上行する場合がある(図11)。さらに、虫垂が屈曲・蛇行しながら走行することも少なくない。重要なことは、虫垂根部からその走行を追いながらできる限り盲端まで描出することである。この走査は



虫垂に対して短軸ならびに長軸を駆使しながら行うことになる(場合によっては微妙に角度を変えながら)。虫垂根部は正常径で先端部分のみが6mm以上に腫大していることも少なくない。虫垂には異常なしと診断するには普段から虫垂全体を描出するよう心がけることが極めて重要である。

急性虫垂炎を疑う際の超音波診断で重要なのは、虫垂炎所見がない場合に腹痛の原因となる他の異常所見を検索することである。それらには、回腸末端の肥厚、腸間膜リンパ節腫大、腎や卵巣の異常などがある。

腎臓および膀胱の走査手順

右腎縦断像は、上腹部走査の①右肋間走査(図3)を基本に肝臓をウインドウにして観察するとよい。さらに角度を調整して下方(尾側)に向かうと直接腎臓を描出できる。左腎縦断像は、上腹部走査の⑤左肋間走査(図3)を下方(尾側)に向かうと、上極は脾臓をウインドウに、中央ならびに下極は直接描出することができる。両腎とも縦断像は、外側から内側(あるいは腹側から背側)にかけて全体を評価し、中央の最大部分で計測を行う。腎実質のエコー輝度、実質の厚さ、水腎症、腫瘍、石灰化などを評価する。水腎症の程度の評価(SFU分類など)は縦断像で行われることが多い。縦断像で評価したら、これに直角な断面で横断像を上極から下極にかけて評価する。水腎症の場合は、腎門部の横断像で腎盂前後径の計測を行うようにすると、同一患児の経時的変化の評価に役立つ。腎盂壁の厚さも有用な指標で、0.8mmを越える場合は病的で、その原因として尿路感染、膀胱尿管逆流などに起因する間歇的な尿路拡張などを考慮すべきである¹³⁾。

膀胱は、検査時に必ずしも緊満しているわけではないが、走査の基本は、横断像と縦断像である。

横断像は、下から上（あるいは上から下）に走査して、膀胱壁の状態や背側下部尿管拡張の有無を評価する。女兒では、卵巣内の卵胞が拡張尿管に類似することがあるので注意しなければならない。横断像での走査に続いて縦断像での走査を行う。これらにより、膀胱形状を把握することができる。

その他

鼠径ヘルニア嵌頓における脱出腸管の評価や急性陰嚢症の診断にも超音波検査は極めて有用であるが、紙面の都合で割愛する。

おわりに

一般小児外来における超音波活用法のうち、腹部救急疾患について、超音波検査の一般的事項に加え、検査の実際につき解説した。

文献

- 1) 野坂俊介, 正木英一: 目で見る最新の超音波診断 肝胆膵 (総論). 小児科診療 71 増刊号: 319-329, 2008.
- 2) 横田京子, 王 怡, 小野倫子, 他: 超音波断層像による小児の肝計測. J Med Ultrasonics 27: 973-980, 2000.
- 3) Siegel MJ: Gallbladder and biliary tract. In Siegel MJ (ed): Pediatric sonography, 4th ed, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp275-304, 2011.
- 4) 野坂俊介, 正木英一: 胆汁うっ滞の画像診断. 小児内科 43:1000-1007, 2011.
- 5) Lee HJ, Lee SM, Park WH, et al: Objective criteria of triangular cord sign in biliary atresia on US scans. Radiology 229: 395-400, 2003.
- 6) Takamizawa S, Zaima A, Muraji T, et al: Can biliary atresia be diagnosed by ultrasonography alone? J Pediatr Surg 42: 2093-2096, 2007.
- 7) Kim WS, Cheon J-E, Youn BJ, et al: Hepatic arterial diameter measured with US: Adjunct for US diagnosis of biliary atresia. Radiology 245: 549-555, 2007.
- 8) Siegel MJ: Gastrointestinal tract. In Siegel MJ (ed): Pediatric sonography, 4th ed, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp339-383, 2011.
- 9) 野坂俊介: 日齢12男児, 胆汁性嘔吐. Photo Quiz 小児腹部救急の読影トレーニング, 初版, 診断と治療社, 東京, pp5-8, 2007.
- 10) 野坂俊介: 11ヵ月女児, 哺乳不良および血便. Photo Quiz 小児腹部救急の読影トレーニング, 初版, 診断と治療社, 東京, pp25-28, 2007.
- 11) 野坂俊介: 6歳男児, 右下腹部痛. Photo Quiz 小児腹部救急の読影トレーニング, 初版, 診断と治療社, 東京, pp57-60, 2007.
- 12) 野坂俊介: 13歳男児, 腹痛. Photo Quiz 小児腹部救急の読影トレーニング, 初版, 診断と治療社, 東京, pp89-92, 2007.
- 13) Robben SGF, Boesten M, Linmans J, et al: Significance of thickening of the wall of the renal collecting system in children: an ultrasound study. Pediatr Radiol 29: 736-740, 1999.

7. 小児領域

放射線科医の考え、症例報告：野坂 俊介¹⁾

検査依頼科医の考え：笠原 群生²⁾

独立行政法人国立成育医療研究センター 放射線診療部¹⁾
同 臓器移植センター²⁾

1. はじめに

非イオン性造影剤の使用開始前後のインパクトを一言で表現するとすれば、1980年代前半に研修医となり放射線科医として仕事をスタートした筆者にとっては、「きわめて大きかった」となる。すなわち、それまで主流であったイオン性造影剤と新たに導入された非イオン性造影剤の両方を経験する機会に恵まれ、非イオン性造影剤の恩恵を実感できたからである。

また、わが国で1986年9月1日～1988年6月30日の期間に行われたイオン性および非イオン性造影剤の副作用に関する全国規模の調査¹⁾に、現場の「造影係」として参加する機会があったことも記憶に残る大きな出来事である。当時は、ヘリカルCT導入以前で、スキャン時間も長く、1回の検査における撮影枚数も少なかった。最近のCT事情とは大きく異なり、さまざまなことがゆったりとしていたことを記憶している。また、造影剤の注入方法も現在とは異なり、インジェクターはなく、点滴静注法が主体であった。そのような環境でも、造影CTが副作用なく無事に終了すると、その度にほっとしたことを覚えている。

前述の、337,647例を対象とした造影剤副作用調査の結果、全副作用の頻度はイオン性造影剤で12.66%、非イオン性造影剤で3.13%と、非イオン性造影剤で有意に低かった¹⁾。このうち、重大な副作用（呼吸困難、突然の血圧低下、心停止、意識障害などで何らかの治療を必要とする場合をいう）の頻度についても、イオン性造影剤で0.22%、非イオン性造影剤で0.04%と、非イオン性造影剤で有意に低い¹⁾ことが判明し、非イオン性造影剤の安全性の高さが容易に理解できる。最近発表された、

主に小児と若年成人12,494人を対象とした、非イオン性造影剤の副作用に関する検討では、副作用は全体で0.46%と頻度は低く、大部分が軽微な症状で、頻度は児の年齢とともに高くなることが判明した²⁾。

もちろん、造影CTの画像から使用した造影剤の銘柄を言い当てることは誰もできないが、発売から25年という長い歴史に支えられたイオパミロンは最も安心して使える造影剤の代表であることは間違いない。

2. 造影CTの位置付け

1990年代末に登場した多列検出器型CT (multi detector-row CT: MDCT)の普及により、スキャン時間が短縮し、小児領域の検査が覚醒下で行える頻度が高くなった³⁾。またvolume scanにより、冠状断や矢状断といった多断面の画像再構成や精密な3D画像表示が簡単に得られるようになった³⁾。MDCTの普及とともに、小児ならびに成人のCT検査は世界的に増加傾向にあった³⁾。そのような状況において、2001年にBrenner氏ら⁴⁾が、「米国では年間約60万件の腹部および頭部CT検査が15歳以下の小児に行われているが、それらが成人と同様の条件設定で行われた場合、将来約500人がCT被曝に起因する癌で死亡する計算になる」と報告した。この報告の意図することは、放射線に対して感受性が高い小児に対してCTを行う際には、診断に影響を与えない範囲で線量を下げるべきである、ということであった。これを契機に米国小児放射線学会 (The Society for Pediatric Radiology: SPR)がImage Gently (<http://www.pedrad.org/associations/5364/ig/>)という被曝低減キャンペーンを開始した。同HPには日本語訳も掲載されて

いる。

わが国における小児領域のCTに対する考え方の基本は、米国よりやや時間が経過した2005年に社団法人日本医学放射線学会、公益社団法人日本放射線技術学会、日本小児放射線学会が協同で発表した「小児CTガイドライン—被ばく低減のために—」(http://www.radiology.jp/modules/news/article.php?storyid=118)に基づいている。その中には、「造影検査だけで目的が達せられる場合、単純CT検査は控える」という記載があり、参考になる。もちろん、放射線を使わない超音波検査やMRIで検査の目的が達成できればCTを行う必要はない、ということはいうまでもない。

小児領域における造影CTの位置付けは、検査部位、検査目的、被検患児の年齢や体格に応じて異なる。もちろん、前述のごとく被曝低減に関しても配慮されるべきで、ALARA (as low as reasonably achievable)の原則に基づいた撮影条件にすべきである。以下、解剖学的な部位別に造影CTの位置付けについて述べるが、これは絶対的なものではなく、各施設の事情に大きく影響される。

中枢神経系はMRI/MRAと比較した場合、血管系と頭蓋骨や頸椎の位置関係を同時に評価しなければならない状況では造影CT (CTA)が有用である。

頭頸部は多くの場合、超音波検査で評価可能であるが、咽後膿瘍など深部の病変を短時間で評価しなければならない場合は造影CTが適応となる。

胸部では、縦隔および肺野の評価が必要な場合、造影CTが行われる。心大血管系の評価のうち、形態評価が主で短時間での評価が必要な場合は、造影CT (CTA)が行われる。

腹部は、被検者の体格にもよるが、肥満でない場合は超音波検査で評価可能であることが多い。腹痛症などで超音波所見と臨床症状に乖離がある場合や病変が大きい場合は、短時間で広い範囲の評価が可能なCTが適応となる。小児は一般的に体脂肪が少なく、腹部臓器間のコントラストがつきにくいことから、造影CTが基本となる。胆道系や内性器の評価にはMRIが有用であるが、緊急時や被検患児の年齢や状態によっては、造影CTが行われることもある。

骨軟部は、単純X線撮影、超音波検査、MRIがその中心で、骨折の評価などで単純CTが行われる場合はあるが、造影CTが適応となることは少ない。血管系の評価

を広範囲に短時間で行いたい場合は造影CT (CTA)が適応となることがある。

造影CTの際には、造影剤の適切な注入が重要である。適切な部位の静脈に留置針で末梢ルートが確保できた場合は、自動注入器で造影剤を注入する。末梢ルートのサイズと推奨される造影剤注入速度の目安は、20Gで3.0~4.0mL/sec、22Gで1.5~2.5mL/sec、24Gで1.0~1.5mL/secである⁵⁾(筆者の施設では、24Gの場合はルート確保の部位にもよるが、0.8mL/secとしている)。新生児や乳児では自動注入器ではなく用手注入の場合が多い⁶⁾。投与する造影剤の総量は、2.0mL/kgを目安としている⁶⁾。

近年、新生児ならびに乳児に対する心大血管系の造影CTの際に低電圧(80kVp)での撮影が推奨されている⁷⁾。管電圧を80kVpと低電圧にすることで、被曝低減、造影剤投与量の低減、造影能が長時間維持される、などの利点がある⁷⁾。

3. 症例紹介

症例1 Klippel-Feil 症候群

患者背景：10歳男児。Klippel-Feil 症候群(KFS)およびその他の多発奇形の診断で、他院で経過観察中であった。経過観察中に行った頭部および頸椎部MRI(図1)で頭蓋底陥入および頸髄の広い範囲に広がる空洞症を認めた。腱反射の亢進、歩行ならびに運動障害はなく、経過観察中であった。その後、尿失禁を認めたため、精査ならびに加療の目的で脳神経外科紹介となった。術前の評価目的に、頭蓋頸椎移行部を含めた頭部から頸椎の単純CTおよび造影CT (CTA)が依頼された。

画像所見：頭部から頸椎の単純ヘリカルCTの3D再構成画像(図2A、B)では、上位頸椎を中心に癒合を認め、撮像範囲に含まれた肋骨も癒合している。造影CT (CTA) (図3A~E)では、頭蓋底を上方からみると右椎骨動脈は頸椎の前方を走行し、やがて頭蓋内に入る(図3A：矢印)。頸椎部分の画像(図3B~E)では、左椎骨動脈は欠損し、右椎骨動脈はやや正中よりを上行する右内頸動脈から分枝(図3C：矢印)し、短く、頸椎横突孔を通ることなく頸椎前面を上行し、そのまま大後頭孔から頭蓋内に入り、脳底動脈となっていることが解る。

鑑別診断：KFSは、先天的な頸椎癒合で、典型的な短頸、頭頸部の運動制限および後頸部の毛髪線低位を認めるのは全体の50%以下である⁸⁾。KFSの頻度は42,000出

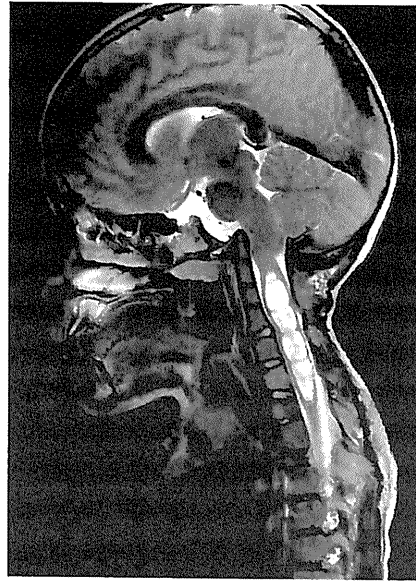


図1 頭部および頸椎部MRI矢状断T2強調画像

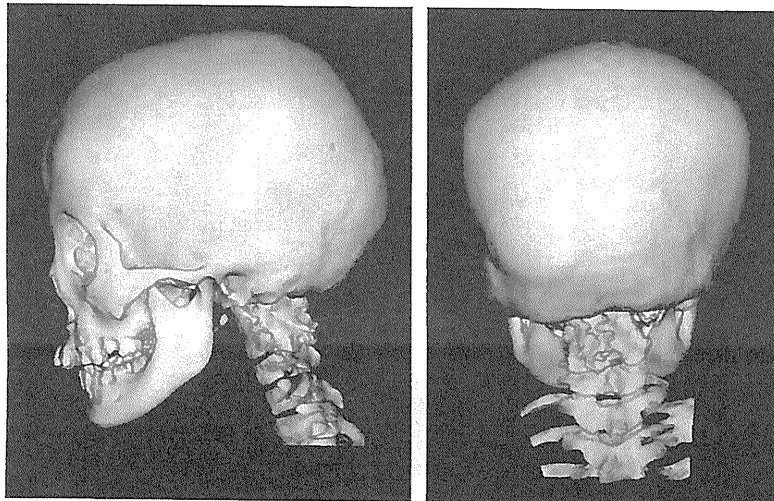


図2 頭部および頸椎部単純CT骨条件3D再構成画像

生に1人といわれている⁹⁾。Type I～IIIの分類があり、Type Iは頸椎および上位胸椎の広範囲の脊椎癒合、Type IIは最も多い病型で1～2椎間の癒合(C2/3、C5/6癒合が最多)に半側椎骨(hemivertebra)や後頭骨一環椎癒合を伴う、Type IIIは頸椎癒合に下位胸椎あるいは腰椎の脊椎癒合を認める場合、である⁹⁾。KFSは、臨床症状ならびに椎体の画像所見から診断される病態で、鑑別診断をあげるといよりは、合併病変の検索が重要となる。

KFSに合併する病変としては、側弯症(60%)、腎病変

(35%;腎無形成、異形成、位置異常、回転異常、重複腎盂)、Sprengel変形(30%)、難聴(30%)、先天性心疾患(14%;心房中隔欠損や大動脈縮窄)、頭蓋顔面非対称(13%)、および口蓋裂(10%)がある⁸⁾。KFSにおける骨格系病変についてはMDCTによる3D再構成画像で詳細に評価可能となった⁸⁾。

また、胎生期の血流障害が、さまざまな先天性疾患の原因として知られているように、subclavian artery supply disruption sequence(鎖骨下動脈血流遮断シーク

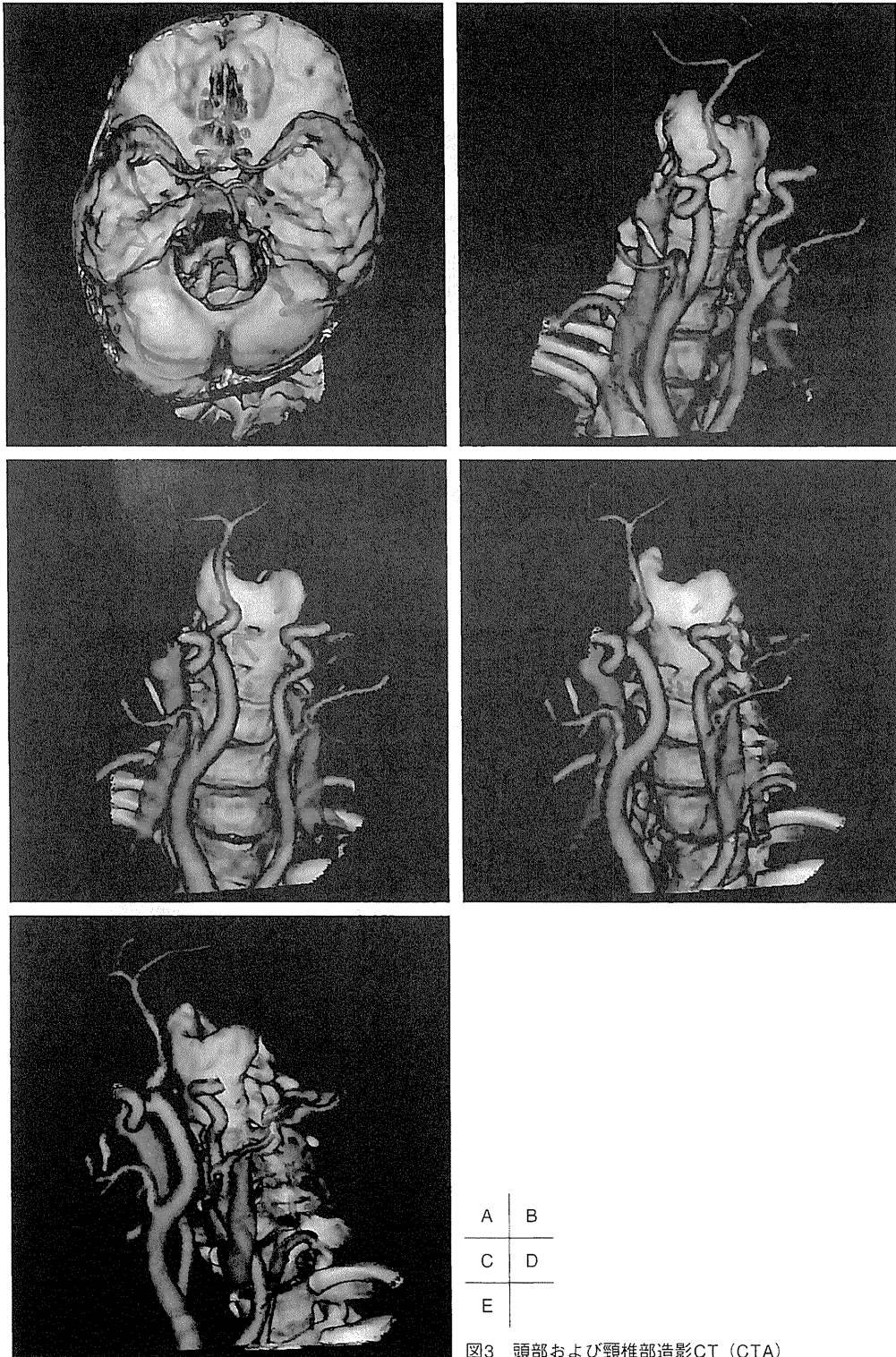


図3 頭部および頸椎部造影CT (CTA)

エンス)がKFSの原因と推測され、血流障害により椎体の異常を生じるといわれている¹⁰⁾。本例で認めた左椎骨動脈欠損、右椎骨動脈の分岐および走行異常も、頸椎癒合をはじめとする骨形態の異常の原因かもしれない。

その後の経過：本例に対しては、大後頭孔減圧も考慮されたが、今回は空洞一くも膜下腔シャント術が行われ、空洞の縮小が確認された。現在経過観察中である。

本症例に造影検査が必要とされる理由：KFSに認める頭蓋底陥入および頸髄空洞症に対する術前精査の一つとして頸椎および頭部CTの際に同時に造影CT (CTA)も行った。本例のように、頭蓋内に向かう血管の解剖や走行の異常を伴う場合は、骨格系も同時に表示できる造影CT (CTA)が主に血管系のみを描出するMRAに比し術前の情報量が多く、有用と思われる。

症例2 肝細胞癌破裂

患者背景：13歳男児。体育の授業中に5m程度の距離でバスケットボールのパスをしていたところボールが上腹部に当たった。痛みのためうずくまり、しばらく休んでいた。起き上がろうとしたところめまいを自覚した。受傷から約3時間後に救急診療科へ救急搬送となった。来院時、腹部は膨隆し上腹部に圧痛を認めた。心拍数は90 bpm、収縮期血圧は70 mmHgで、急速輸液にて血圧を維持できる程度であった。ポータブル腹部単純X線撮影(図4)では、腹腔内液体貯留を示唆するiliac crest sign (矢印)ならびにflank stripe sign (矢頭)を認める。血中ヘモグロビンは、1時間の間隔で11.0 g/dLから8.1 g/dLに低下した。病態把握の目的に、血圧を維持しつつ、腹部造影CTを行うことになった。

画像所見：腹部造影CT早期相(図5A、B)では、肝左

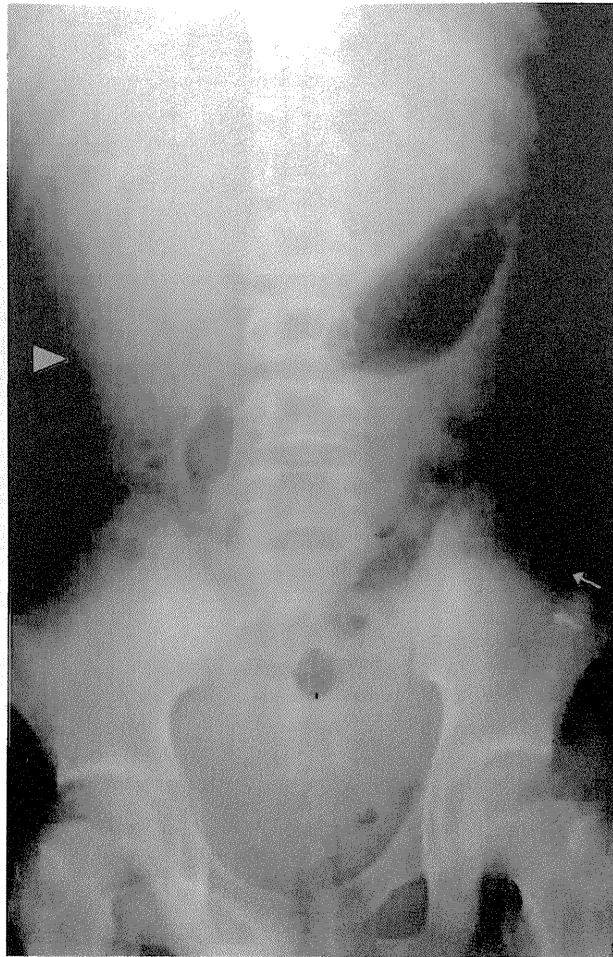


図4 ポータブル腹部単純X線撮影 臥位正面像

葉から右葉前区域を占拠する多結節性の腫瘍を認め、左葉外側区の左縁に接して造影剤の血管外漏出像が確認できる(図5B: 矢印)。肝右葉周囲の腹腔内液体に加え、肝左葉外側区の左側で胃の前方には不均一軟部組織濃度領域があり腹腔内血腫と考えられる。冠状断MPR像(図5C)では、腫瘍が右葉後区域を除いて広範囲に存在することが明瞭である。

鑑別診断：広範囲に広がる肝腫瘍で造影剤の血管外漏出像および大量腹腔内出血を伴うことから、比較的軽微な外傷に起因した肝腫瘍破裂と診断できる。肝腫瘍に関しては、造影CT早期相(図5A、B)と比較して遅延相(図6A、B)では腫瘍の造影効果が低下していることから、肝動脈に栄養される悪性腫瘍の可能性が示唆される。後に血清 α -fetoprotein (AFP)は16,404 ng/mLであること

が判明した。

小児にみられる原発性肝悪性腫瘍の鑑別診断は、肝芽腫、肝細胞癌、fibrolamellar carcinoma、undifferentiated embryonal sarcomaなどがあり、以下のような特徴がある¹⁾。肝芽腫は、3歳以下の原発性肝悪性腫瘍として最も頻度が高く、約90%で血清AFPの上昇を認める。肝細胞癌は、肝芽腫に次ぐ頻度であるが、通常は5歳以上に認められ、血清AFPの上昇は50%に認められる。肝細胞癌は、肝硬変などの肝疾患を背景に発生するが成人ほどの頻度ではない。Fibrolamellar carcinomaは、独立した肝細胞癌の病型で、5~35歳の若年成人に認められ、慢性肝疾患やウイルス性肝疾患に合併せず、通常血清AFPの上昇は伴わない。Undifferentiated embryonal sarcomaは、稀なきわめて悪性度の高い腫瘍で、5~10歳に認め、

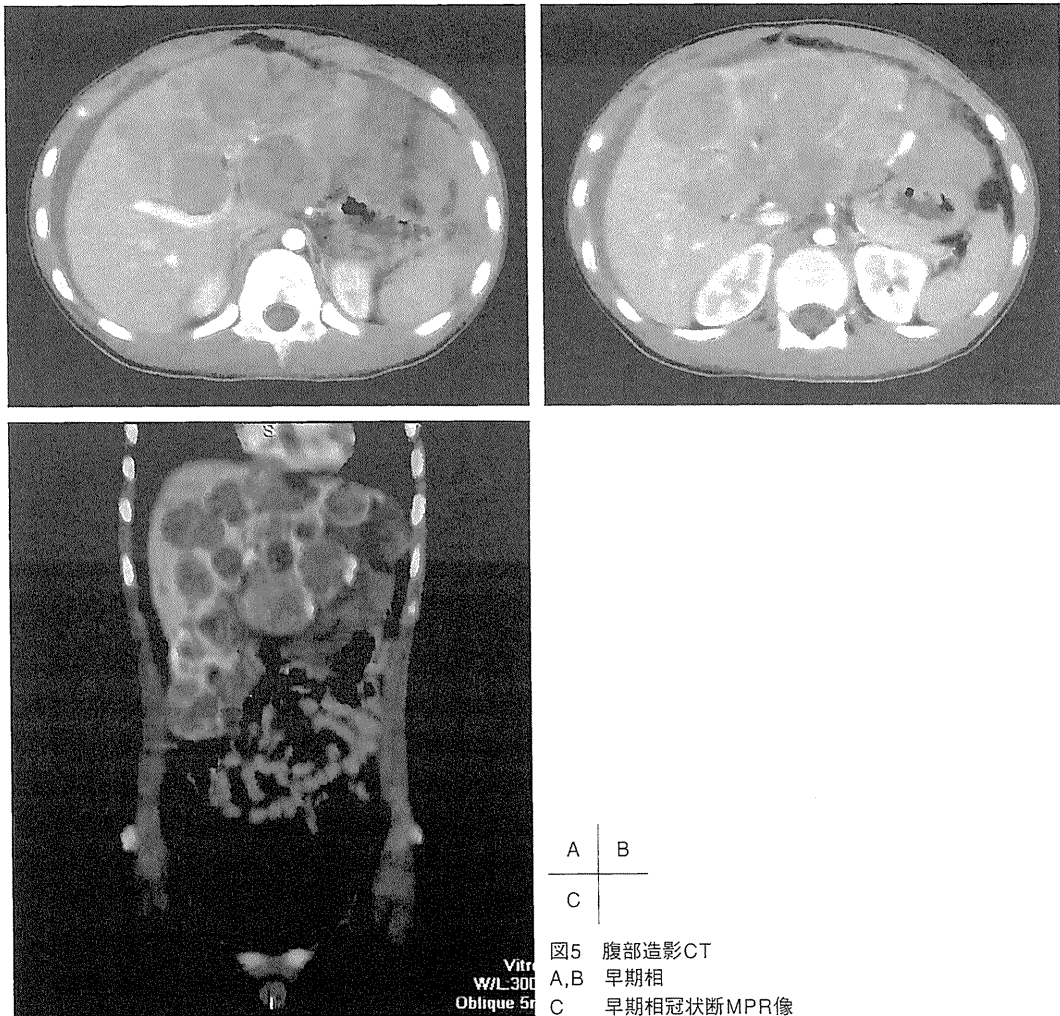


図5 腹部造影CT
A,B 早期相
C 早期相冠状断MPR像

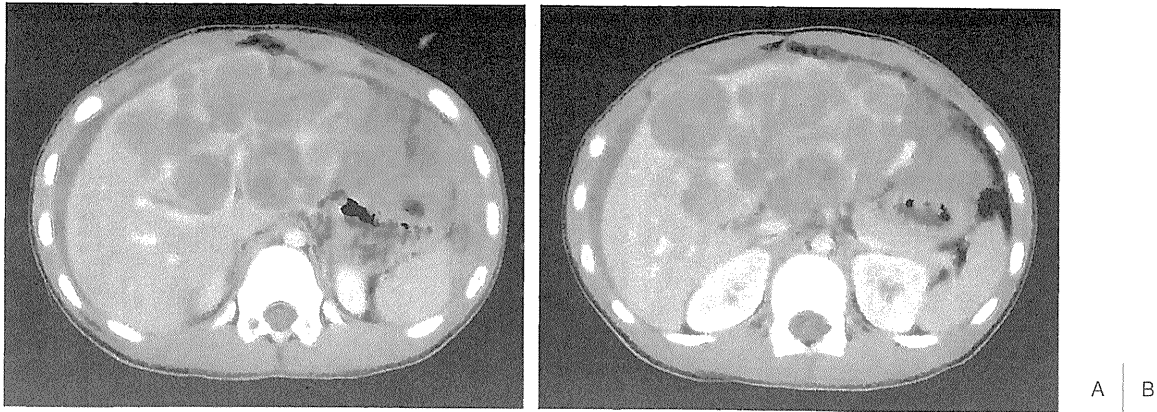


図6 腹部造影CT遅延相

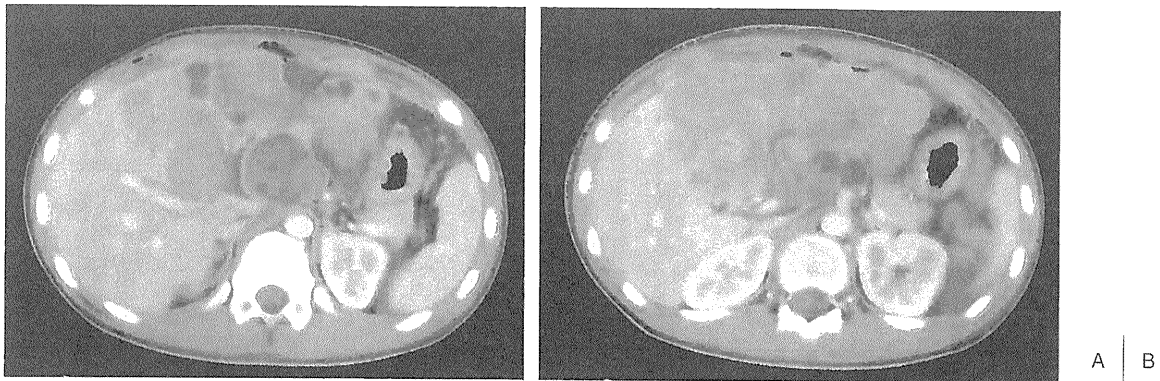


図7 腹部造影CT (術後2日)

90%は15歳以下である。Undifferentiated embryonal sarcomaは、通常診断時大きく、単発性病変で右葉発生が75%である。

造影CTでは、肝芽腫および肝細胞癌はさまざまな程度の造影効果を示す¹¹⁾。Fibrolamellar carcinomaは動脈相では不均一造影効果を示し、門脈相ではより均一となり、中心部にはcentral scarといわれる造影されないかあるいは造影効果の低い部分を認める¹¹⁾。Undifferentiated embryonal sarcomaは、さまざまな程度の造影効果を示す¹¹⁾。

小児肝原発悪性腫瘍の鑑別診断には、前述のごとく造影CT所見をはじめとする画像所見に加えて、患児の年齢や血清AFP上昇の有無などが参考になる。本例は、肝細胞癌を第一に考えた。

その後の経過：患児の不安定な全身状態を考慮し、全身麻酔下の経カテーテル的動脈塞栓術による止血ではな

く、開腹手術による止血術が選択された¹²⁾。開腹時、血圧は50 mmHg、血中ヘモグロビンは5.1 g/dLであった。腹腔内出血は1.5 Lであり、出血点の止血が行われた。開腹所見からは、肝右葉後区域を残してその他の3区域(左葉外側区域、左葉内側区域、右葉前区域)を切除することは可能であった¹²⁾。しかし、血行動態不安定下の緊急手術であったこと、および緊急手術であり残存肝容積の評価が行われていなかったことから、肝切除は行わず、将来の肝切除に備えて残存肝の増大と腫瘍の大部分を虚血にするために、左葉への血行遮断が行われた¹²⁾。同時に行われた腫瘍生検の結果は、肝細胞癌であった。

腫瘍破裂部分の止血および肝左葉への血行遮断の術後2日に行われた腹部造影CT (図7A、B)では右葉後区域容積の増大が確認された。受傷から10日後に肝切除(3区域切除)術が行われた。術後2年経った現在、血清AFPの増加もなく、経過良好である。

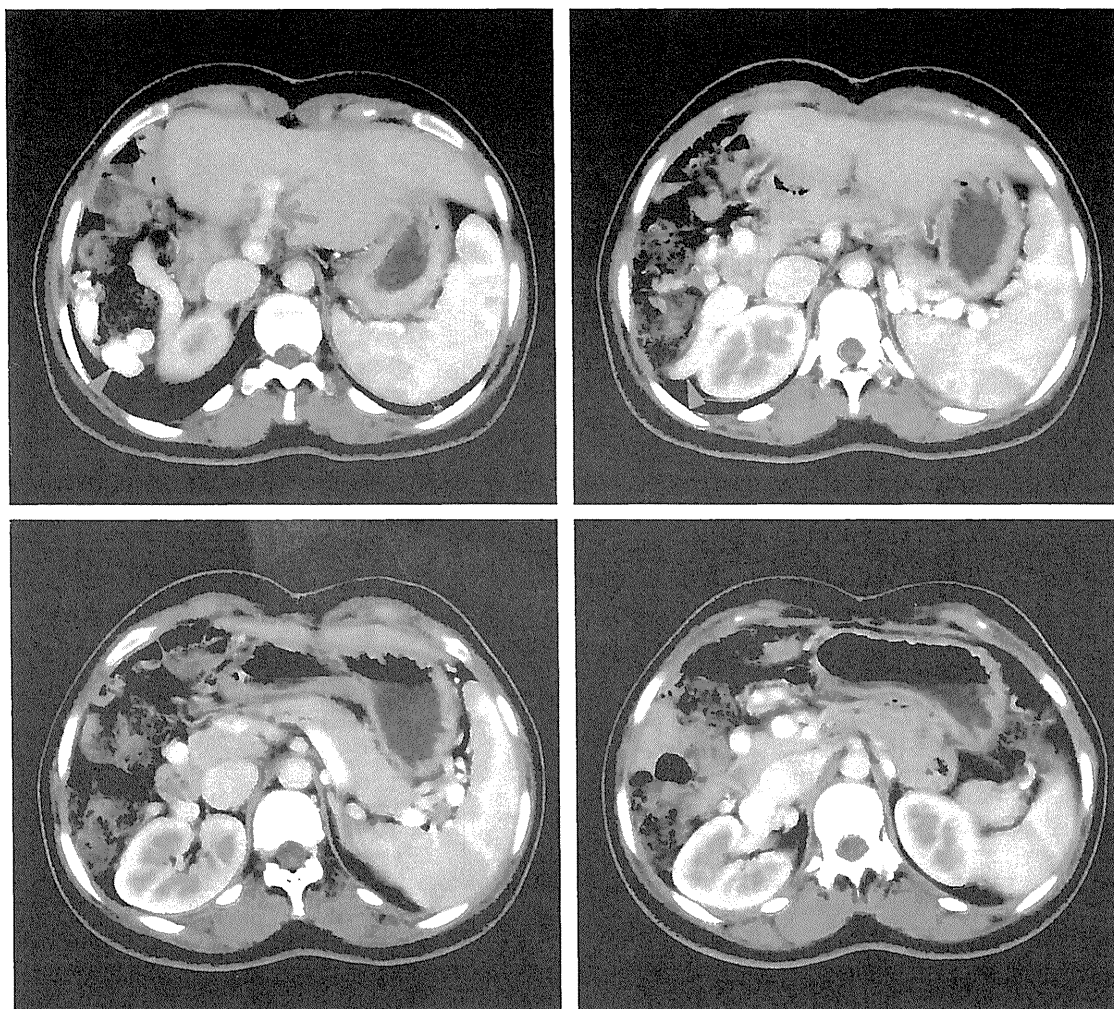


图8 腹部造影CT

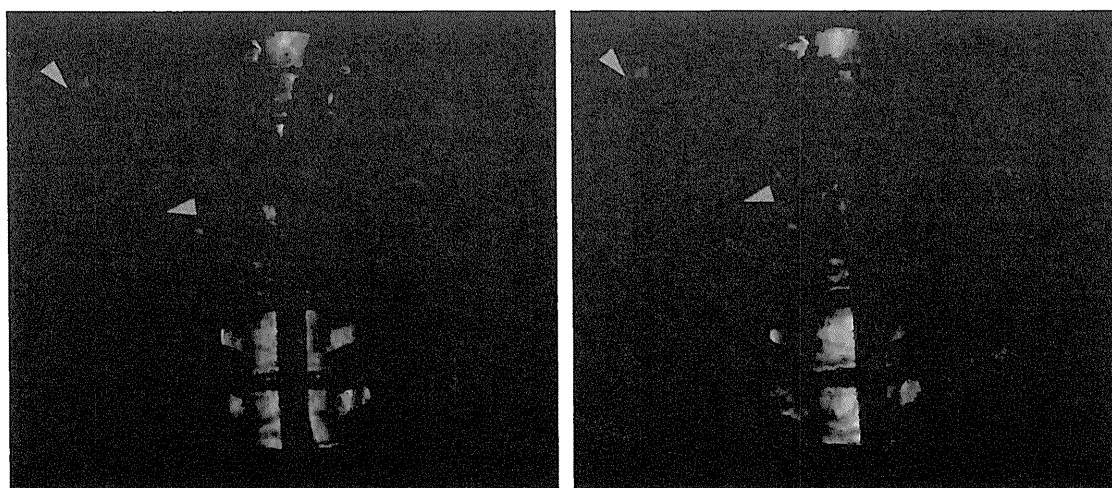


图9 腹部造影CT 3D再構成画像