

特集 腹部の最新・機能画像

1. 腹腔鏡下大腸癌手術のための3D-CT angiography

松木 充, 村上卓道

近畿大学医学部放射線医学教室 放射線診断学部門

3D CT angiography for laparoscopic colorectal surgery

Mitsuru Matsuki, Takamichi Murakami

Department of Radiology, Kinki University Faculty of Medicine

Abstract

Laparoscopic surgery has gained clinical acceptance as a minimally invasive technique for colorectal cancer. However, it takes a long time to resect a tumor and dissect lymph nodes, and identify and ligate the proper vessels under laparoscopic guidance. Moreover, vessels and organs can be injured during lymph node dissection and vessel ligation under laparoscopic guidance. Therefore, we utilized 3D CT angiography for preoperative assessment of vascular anatomy before laparoscopic surgery. And, USPIO, a lymphographic contrast medium of iron-containing nanoparticles, has been shown to be useful in the characterization of lymph nodes. Commonly, systematic mesocolonic lymph node dissection is performed according to the regional staging of colon cancer. However, the 3D-CT angiography fusing nodes, which were diagnosed as metastases on USPIO-enhanced MRI, may enable us to perform individual lymph node dissection.

Keywords : *3D-CT angiography, Laparoscopic surgery, Colorectal cancer, Ultrasmall superparamagnetic iron oxide particles (USPIO)*

はじめに

腹腔鏡下手術は、内視鏡による拡大視効果によって細かい作業が可能になり、小さな術創のため術後疼痛や運動制限を軽減し、美容上も優れているといった利点を有する。さらに、病変部以外の腸管露出がほとんどないことも加わって、腸蠕動が術後早期に回復し、経口摂取も早く開始でき、癒着のリスクも減少する。これらによって、入院期間の短縮と早期の社会復帰といった大きな恩恵がもたらされた。しかし一方、腹腔鏡下の操作のため術野全体を捉えることが困難で、直接臓器に触ることができないといった欠点を有し、解剖学的誤認による血管、周囲臓器への損傷を引き起こ

す危険性がある。よって、われわれはバリエーションに富む大腸に関与する動静脈を非侵襲的に描出する3D-CT angiographyを大腸癌の術前マッピングとして活用し、これをVirtual CT laparoscopyと呼んでいる^{1,2)}。本稿では、Virtual CT laparoscopyの活用の実際について述べる。

腹腔鏡下大腸癌手術の適応と術式

腹腔鏡下大腸癌手術は、早期癌では、内視鏡的粘膜切除術(EMR)適応外の病変を適応とし、全部位で施行可能である。進行癌に対しては適切な手技や創部再発、長期予後の問題があるため、施設により適応が異なっている。われわれの施設では減圧不能な腸閉塞例、高度他臓器浸潤例、巨大

腫瘍例などを除いた進行癌に対しても腹腔鏡下手術を施行している。リンパ節郭清は、EMR困難なM癌では1群、SM癌では2群、進行癌では3群リンパ節郭清を原則としている。

CT撮影方法

前処置として、腫瘍部位のマーキングのために手術前に施行される大腸内視鏡検査の直後に、大腸全体に適度に空気が送気された状態で撮影する。使用装置として64列検出器マルチスライスCT (Aquilion64) を用い、管電圧120kV、管電流300mAのもと撮影条件は、0.5秒ローテーション、コリメーション0.5mm、ヘリカルピッチ53 (ビームピッチ0.828)、再構成間隔1mmとする。造影方法は、非イオン性造影剤300mgI/mlを用い、総量体重(kg)×2～2.5mlを自動注入器にて5ml/秒で急速注入する。その後、Real Prep法を用いて肝上縁から恥骨結合まで動脈相(造影約20秒後)を撮影し、造影50秒後より恥骨結合から肝上縁に向かって静脈相を撮影し(Go and Return)、S状結腸、直腸癌症例に対しては造影5分後の排泄相を追加する。これによって得られた3D-CT arteriography

とvenography, urographyを融合し, multiphase fusion画像を得る^{1,2)}。対応すべき血管である上腸間膜動脈、下腸間膜動脈およびそれらの分枝にはバリエーションが多く、同時に上腸間膜静脈、下腸間膜静脈、性腺静脈、尿管との多彩な位置関係が腹腔鏡下での動脈根部、静脈の処理、リンパ節郭清を困難なものとする。よって、術前に3D-CT angiographyによって大腸に關与する動脈、静脈、尿管の位置関係を知ることは、安全かつ迅速な手術の遂行に有用と考えられた。

Virtual laparoscopy 活用法の実際

領域別の大腸癌に対するVirtual laparoscopyの活用を述べる。

1) 盲腸癌、上行結腸癌に対して

進行癌の3群リンパ節郭清ではsurgical trunkに沿って回結腸動脈根部から中結腸動脈根部までのリンパ節を郭清して血管を処理する必要がある。その郭清時に注意すべきポイントとして、a) 上腸間膜動脈から直接分岐する右結腸動脈の有無と b) 回結腸動脈と上腸間膜静脈の位置関係がある。

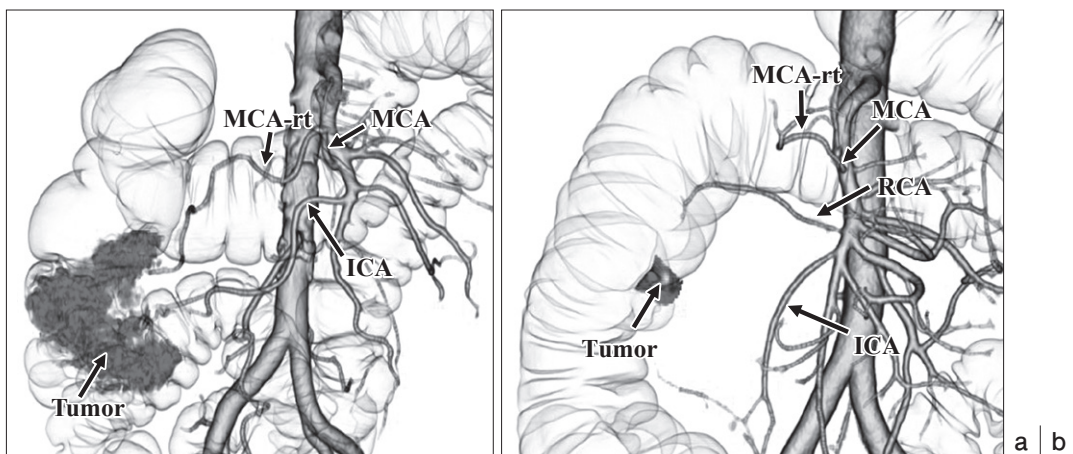


Fig.1 3D-CT arteriography

- a: 3D-CT arteriography shows no right colic artery (RCA) directly branching from the superior mesenteric artery (SMA). Therefore, in right hemicolectomy, the origins of the ilioocolic artery (ICA) and right branch of middle colic artery (MCA-rt) are ligated.
- b: 3D-CT arteriography shows RCA directly branching from the SMA. Therefore, in right hemicolectomy, it is necessary to carefully isolate and ligate the proximal portion of RCA during the dissection of the intermediate lymph nodes (N2) nodes along the SMA.

上腸間膜動脈から直接分岐する右結腸動脈を認めない場合 (Fig.1a) は、回結腸動脈根部を郭清した後、上腸間膜動脈に沿って中結腸動脈根部まで迅速に郭清を進めることができる。しかし上腸間膜動脈より直接分岐する右結腸動脈を認める場合 (Fig.1b)、回結腸動脈、右結腸動脈分岐部を同定、切離した後、中結腸動脈根部まで en bloc に郭清する。また回結腸動脈が上腸間膜静脈の腹側を走行する場合 (type A) (Fig.2)、回結腸動脈根部の処

理の際、その背側を走行する回結腸静脈枝や上腸間膜静脈本幹の損傷に注意して正確に回結腸動脈根部を処理する必要がある。しかし、回結腸動脈が上腸間膜静脈の背側を走行する場合 (type B) (Fig.3)、上腸間膜静脈背側の回結腸動脈に沿った綿密なリンパ節郭清が必要となる。3D-CT arteriography, multiphase fusion 画像は、上腸間膜動脈から直接分岐する右結腸動脈の有無、回結腸動脈と上腸間膜静脈の位置関係の把握に有用である。

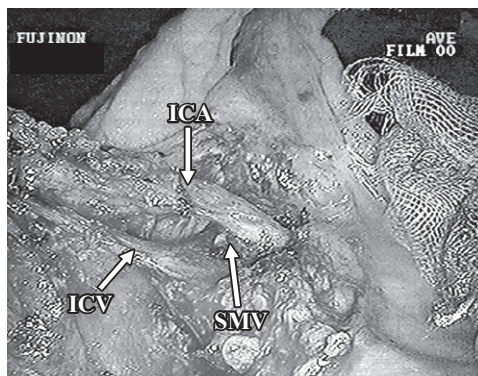
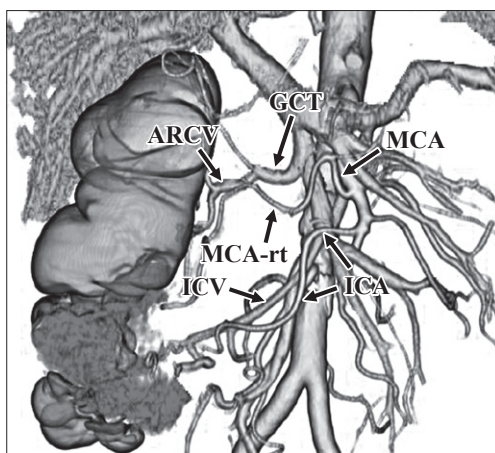


Fig.2 Multiphase fusion image (a) and intraoperative view (b)

a: Multiphase fusion image shows clearly the iliocolic artery (ICA) running ventral to the superior mesenteric vein (SMV [type A]).

b: In a reference to the multiphase fusion image, it is necessary to carefully isolate and ligate the proximal side of ICA without injuring the iliocolic vein (ICV) and SMV dorsal to ICA.

MCA : middle colic artery, MCA-rt : right branch of the middle colic artery,

GCT : gastocolic trunk of Henle, ARCV : accessory right colic vein

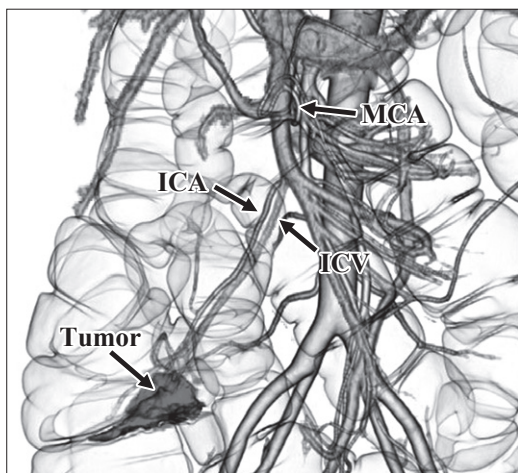


Fig.3

Multiphase fusion image

Multiphase fusion image shows clearly the ICA running dorsal to the SMV (type B). Therefore, the isolation of ICA requires meticulous dissection of the intermediate lymph nodes (N2) along the ICA dorsal to SMV.

ICV : Iliocolic vein, MCA : middle colic artery

2) 横行結腸癌に対して

左側結腸曲進行癌は通常中結腸動脈左枝より栄養を受けているため、左半結腸切除に際し中結腸動脈あるいは中結腸動脈左枝を結紮、処理する。しかし、まれに副左結腸動脈によって支配されている場合、副左結腸動脈のみを処理することによって中結腸動脈を温存することができる。副左結腸動脈は、中結腸動脈分岐部より中枢側の上腸間膜動脈より分岐し、脾彎曲部の結腸に流入する動脈で、その頻度は欧米で4～8%、本邦で33～49%といわれている³⁻⁵⁾。3D-CT arteriographyは、副左結腸動脈の同定に有用である (Fig.4)。

3) S状結腸～直腸進行癌に対して

S状結腸～直腸進行癌の3群リンパ節郭清に対し、本邦ではS状結腸が長い人が多く、正常腸管を長く温存しつつ残存腸管や吻合部への血流を維持して縫合不全を予防するため、われわれは左結腸動脈などを温存したリンパ節郭清を行っている。

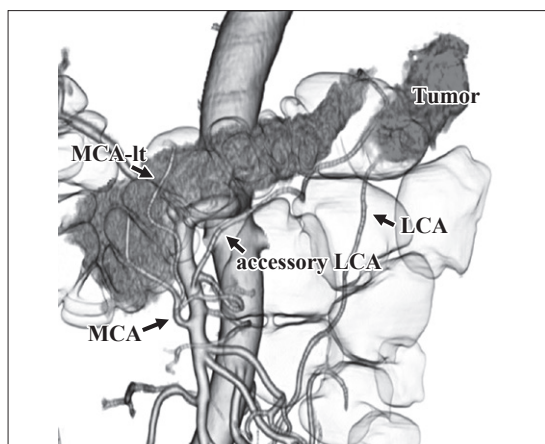


Fig.4 3D-CT arteriography

3D-CT arteriography shows clearly an accessory left colic artery (accessory LCA), which branches from the SMA and runs toward the splenic flexure along the lower border of the pancreatic body, feeding the left transverse colon cancer. With reference to the 3D-CT arteriography, it is necessary to isolate and ligate the accessory LCA with preservation of the MCA.

MCA-It : left branch of the middle colic artery

S状結腸動脈の本数、分岐パターンにはバリエーションがあり、左結腸動脈より分岐、左結腸動脈と同時に下腸間膜動脈より分岐、上直腸動脈より分岐することがある (Fig.5)⁶⁾。例えばS状結腸進行癌3群リンパ節郭清症例 (Fig.6)で、第1S状結腸動脈が左結腸動脈 (LCA) から分岐し、腫瘍を支配していることを術前に把握することができれば、中枢側リンパ節郭清を下腸間膜動脈根部より第1S状結腸動脈まで en bloc に行い、第1S状結腸動脈根部のみを処理し、左結腸動脈、上直腸動脈を温存することができる。さらに下腸間膜静脈を処理する際、近傍を走行する左結腸動脈を損傷させないように注意する必要がある (Fig.7)。またS状結腸動脈根部処理の際、近傍を走行する尿管を (Fig.8)、また下腸間膜動脈に沿った2群リンパ節を郭清する際、近傍を走行する性腺静脈を損傷させないように注意する必要がある (Fig.9)。3D-CT arteriographyは腫瘍の支配血管、S状結腸動脈の分岐パターンを明瞭に描出し、multiphase fusion画像は下腸間膜動脈、その主要分枝と下腸間膜静脈、性腺静脈、尿管との位置関係を明瞭に描出する。

将来展望について

大腸癌のリンパ節転移に関するCTでのサイズ診断として①長径1～1.5 cm以上のリンパ節、②1 cm以下でも3個以上集合したものなどが挙げられる。また形態診断として辺縁の不明瞭なリンパ節、短

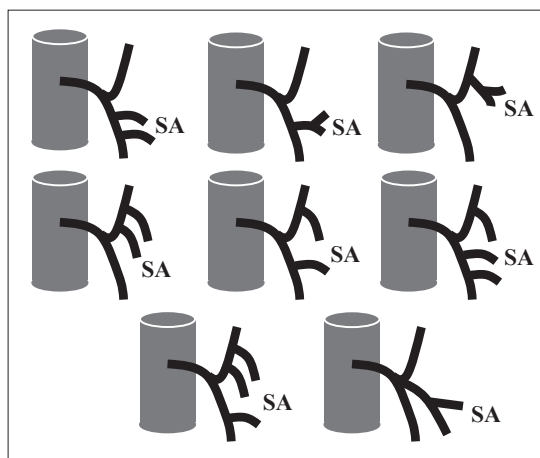


Fig.5 Variation of origin and branches of the inferior mesenteric artery

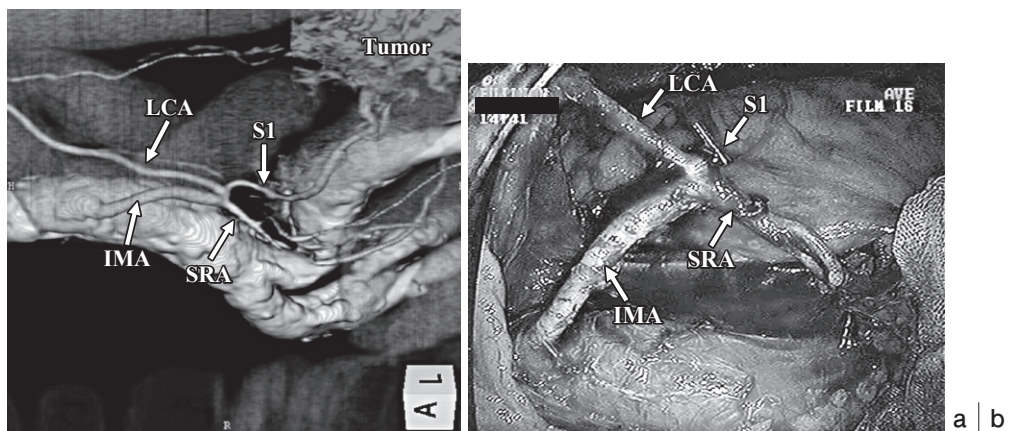


Fig.6 3D-CT arteriography (a) and intraoperative view (b)

a: 3D-CT arteriography shows 1st sigmoid colon artery (S1) branching from the LCA and feeding a sigmoid colon cancer.

b: With reference to the 3D-CT arteriography, it is necessary to isolate and ligate accurately the proximal side of the S1, and preserve the LCA and superior rectal artery (SRA).

IMA : Inferior mesenteric artery

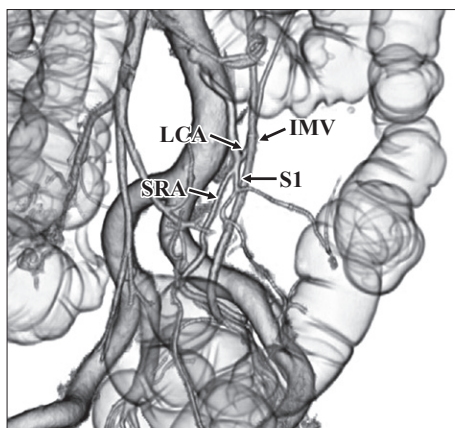


Fig.7

Multiphase fusion image

Multiphase fusion image shows clearly the IMV running near the origin of the LCA. With reference to the multiphase fusion image, it is necessary to isolate and ligate the superior mesenteric vein without injuring the LCA.

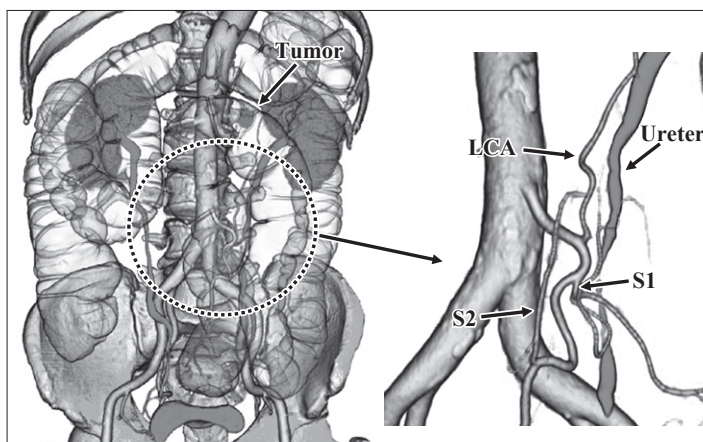


Fig.8

Multiphase fusion image

Multiphase fusion image shows clearly the ureter running near the origin of the S1. With reference to the multiphase fusion image, it is necessary to isolate and ligate the S1 without injury to the ureter.

S2 : 2nd sigmoid artery

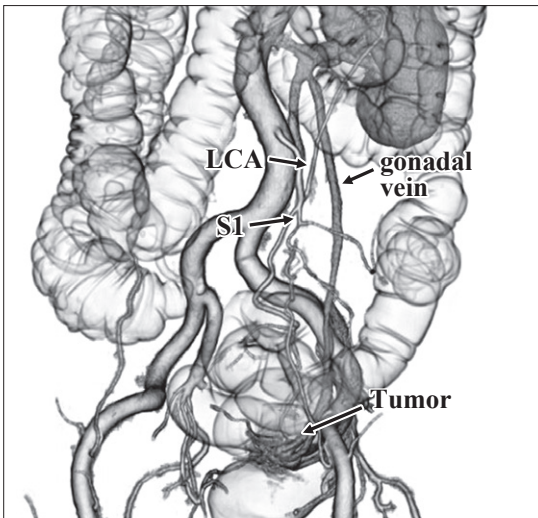


Fig.9 Multiphase fusion image

Multiphase fusion image shows clearly the anatomical relationship between the SMA and gonadal vein. With reference to the multiphase fusion image, it is necessary to dissect safely the lymph nodes along the SMA without injury to the gonadal vein.

径/長径比の大きいものを転移として考える。しかし、これらの診断基準では感度はせいぜい約45%と決して満足できるものではない。そこでFillipponeら⁷⁾は、①長径1cm以上の結腸辺縁、結腸傍リンパ節あるいは1cm以下でも3個以上集合した結腸辺縁、結腸傍リンパ節を認めた場合N1、②3個以上の内臓辺縁リンパ節を認めた場合N2、③長径1cm以上の後腹膜リンパ節を認めた場合N3と診断すると成績が向上すると報告しているが、サイズあるいは形態評価での診断能には限界がある。現在、欧米ではMRIのリンパ節特異性造影剤であるUSPIO (ultra-small superparamagnetic iron oxide) の有用性が報告されている⁸⁾。USPIOは、低分子量のデキストランで被覆された酸化鉄製剤で平均粒子径は30nmより小さく、静脈内投与するとUSPIOは血管壁から間質に漏出され、その漏出したUSPIOをマクロファージが貪食し、リンパ節に運ぶことによってリンパ節の網内系に広く分布する (Fig.10)⁸⁾。取り込まれたリンパ節は、USPIOによってT2*強調画像で信号が低下し、転移に

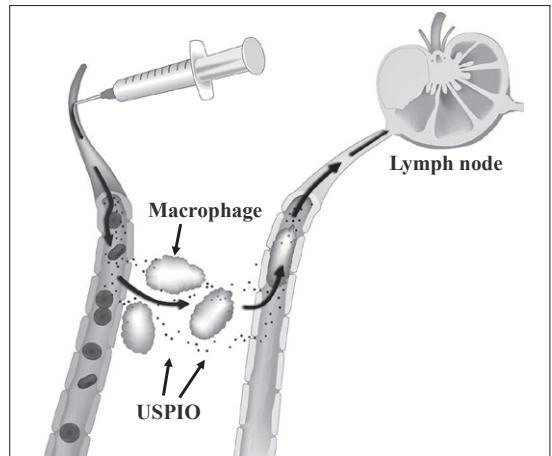


Fig.10 Lymph node accumulation mechanisms of ultrasmall superparamagnetic iron oxide particles (USPIO)

After intravenous injection of USPIO, the nanoparticles circulate systemically and access the interstitium. These nanoparticles in the interstitium are phagocytized by components of the reticuloendothelial system such as macrophages or histiocytes, and are drained through lymphatic vessels to the lymph nodes. These iron-containing nanoparticles accumulate in normal lymph nodes, enhancing susceptibility effects and reducing the nodal T2* signal. Conversely, metastatic lymph nodes lack reticuloendothelial activity, and are thus unable to take up the iron-containing nanoparticles that cause local field heterogeneity.

よって貪食能が低下したリンパ節は信号の低下が乏しく、リンパ節の質的診断に非常に有用である (Fig.11)。USPIOを用いた精度の高いリンパ節転移の情報が得られれば、3D-CT angiographyに転移リンパ節の情報を付加することによって、個々の症例に合ったテーラーメイドのリンパ節郭清も可能になり (Virtual CT laparoscopy with individual lymph nodes dissection) (Fig.12)、より低侵襲な腹腔鏡下手術に寄与するものとして期待される。

おわりに

Virtual CT laparoscopyは、腹腔鏡下大腸癌手術を安全かつ迅速に遂行する上で必要不可欠な情報

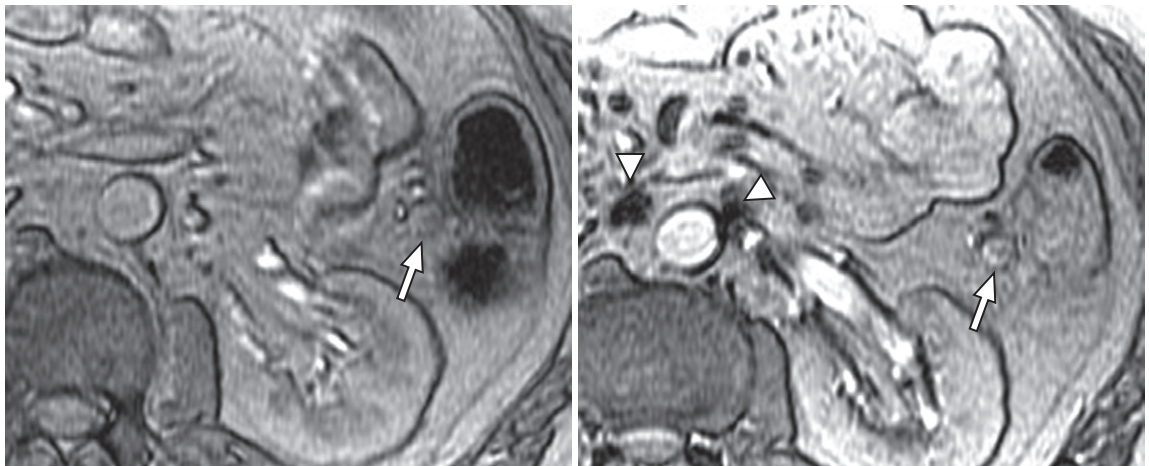


Fig.11 USPIO-enhanced MRI in the patient with descending colon cancer
a : Precontrast T2* weighted image shows enlarged paracolic lymph node (arrow).
b : On postcontrast T2* weighted image, paracolic lymph node (arrow) shows high signal, which reflects metastatic node. Paraaortic lymph nodes show complete darkening, which reflects nonmetastatic nodes.

a | b

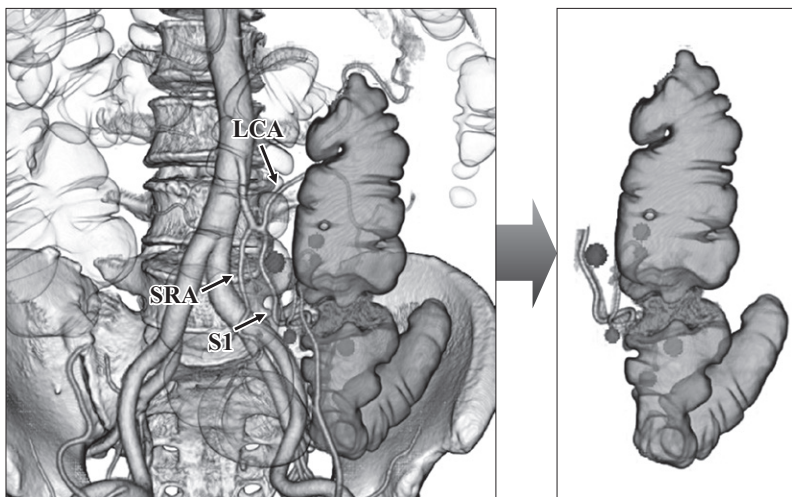


Fig.12 Virtual CT laparoscopy with individual lymph node dissection
Commonly, systematic mesocolonic lymph node dissection is performed up to the root of the IMA in patients with advanced sigmoid colon cancer. However, USPIO-enhanced MRI shows lymph node metastases at the paracolic region and along the S1. Using the 3D-CT angiography fusing metastatic nodes, surgeon can perform individual lymph node dissection.

となっている。今後、リンパ節特異性造影剤を用いたMRIによる精度の高いリンパ節診断がVirtual CT laparoscopyに付加されるとテーラーメイドのリンパ節郭清も可能になり、より低侵襲な腹腔鏡下手術に寄与するものとして期待される。

●文献

- 1) Matsuki M, Okuda J, Kanazawa S, et al : Virtual CT colectomy by three-dimensional imaging using multidetector-row CT for laparoscopic colorectal surgery. *Abdominal imaging* 2005 ; 30 : 698-708.
- 2) Kanamoto T, Matsuki M, Okuda J, et al : Preoperative evaluation of local invasion, metastatic lymph nodes of colorectal cancer and mesenteric vascular variations using MDCT before laparoscopic surgery. *J Comput Assist Tomogr* 2007 ; 31 : 831-839.
- 3) 矢田裕一, 沢井清司, 大原都桂, 他 : 動脈の分岐走行とリンパ節転移状況からみた結腸癌の部位別D2郭清術. *日消外会誌* 1996 ; 29 : 710-716.
- 4) 齊藤修治, 衣笠祐介, 塩見明生, 他 : 副中結腸動脈周囲リンパ節郭清を要する脾彎曲部横行結腸癌に対する腹腔鏡下手術. *手術* 2009 ; 63 : 1691-1695.
- 5) Rusu MC, Vlad M, Voinea LM, et al : Detailed anatomy of a left accessory aberrant colic artery. *Surg Radiol Anat* 2008 ; 30 : 595-599.
- 6) Zebrowski W, Augustyniak E, Zajac S, et al : Variation of origin and branches of the inferior mesenteric artery and its anastomoses. *Folia Morphol* 1971 ; 30 : 510-517.
- 7) Filippone A, Ambrosini R, Fuschi M, et al : Preoperative T and N staging of colorectal cancer : accuracy of contrast-enhanced multi-detector row CT colonography-initial experience. *Radiology* 2004 ; 231 : 83-90.
- 8) Harinsinghani MG, Barentsz J, Hahn PF, et al : Noninvasive detection of clinically occult lymph-node metastases in prostate cancer. *N Eng J Med* 2003 ; 348 : 2491-2499.