

福井 義治¹⁾ 赤川 拓也¹⁾ 倉田 直樹²⁾ 谷 勇人²⁾

1) 徳島赤十字病院 放射線科部

2) 徳島赤十字病院 放射線科

要 旨

現在の CT 装置の進歩には目を見張るものがあり、コンベンショナルな CT からヘリカル CT そしてマルチスライス CT (MSCT) へ進歩し、CT 装置の高い空間分解能の上に時間分解能もますます向上してきている現状にあり、ワークステーションも著しく進歩をしている。

近年、腹腔鏡下手術が患者の QOL を改善する手技として積極的に行われている。しかし、腹腔鏡下手術は内視鏡下での操作であるため術野が狭く、臓器と血管の位置関係を把握するのに時間を要する。

そこで、術前に目的臓器周囲の動静脈の位置関係を、非侵襲的な検査である 3 D-CT Angiography (3 D-CTA) にて、ある程度把握することは迅速かつ安全な手術を行う上で非常に有用である。

当院でも、2007年11月から2008年9月現在までに、約80例の腹腔鏡下術前 3 D-CTA を施行し外科医より高い評価を得ている。今回当院での現状及び改善点をまとめたので紹介する。

キーワード：MSCT, ワークステーション, 腹腔鏡下手術, 3 D-CTA

はじめに

近年、CT 装置の急激な進歩による検出器の多列化に伴い、非常に短時間に高精細な Volume data の取得が可能となってきた。撮影時間の短縮に伴い、造影効果の高いタイミングを狙った撮影が可能となり、特に近年 CT-A の分野では検査目的に応じた様々な撮影方法が研究されている。また、画像処理技術いわゆるワークステーション (以下、WS と表す) の発展により、CT 撮影で得られた膨大な Volume data を 3 D 画像等に処理、または解析する事も可能になってきており、あらゆる分野で様々な試みがなされている。

近年、腹腔鏡下手術が患者の Quality of life (QOL) を改善する手技として積極的に行われている。しかし、腹腔鏡下手術は内視鏡下での操作であるため術野が狭く、臓器と血管の位置関係を把握するのに時間を要する。

そこで、術前に目的臓器周囲の動静脈の位置関係を、非侵襲的な検査である 3 D-CT Angiography (3 D-CTA) にてある程度把握することは、迅速かつ安全な手術を行う上で有用である^{1), 2)}。

当院でも、2007年11月から2008年9月現在までに、約80例の腹腔鏡下術前 3 D-CTA を実施してきた。今回当院での現状及び改善点をまとめたので紹介する。

使用機器等

CT 装置：SOMATOM Sensation Cardiac64 (シーメンス社製)

注入器：Dual Shot Type-D (根本杏林堂社製)

ワークステーション：AZE Virtual Place Lexus (AZE 社製)

腹腔鏡下術前 3 D-CTA の検査の流れ**・前処置**

検査時の前処置について述べる。胃癌患者 (以下、胃癌と表す) の術前においては、原則絶食にしている。大腸癌患者 (以下、大腸癌と表す) の術前では、基本的に大腸内視鏡検査に続いて CT 検査を行うので、大腸内視鏡検査時の前処置が適用されている。大腸内視鏡検査終了後、大腸内の空気を残したまま CT 検査を行う。

・撮影

撮影条件等を表1に示す。初めに位置決め撮影を行い、続いて胃癌、大腸癌共に、単純CTを胸部から骨盤部を撮影する。大腸癌の場合は、基本的に内視鏡検査に続いて行うので、大腸内に空気が充満しているはずであるが、位置決めと単純撮影の画像から、空気が抜けている場合は、再度空気の注入を行う。

続いて造影剤を使用する撮影になるが、基本的な撮像タイミング等を表1に示す。20Gの留置針を原則右肘部に留置、イオパミドール370の造影剤を注入量100ml、3.5～4 ml/secで注入する。胃癌の場合はさらに生理食塩水40mlを同じ注入レートで後押しを行う。

動脈相は、Bolus tracking法を使用し、ROIは大動脈の腹腔動脈分岐部レベルに設定する。110HU以上になれば5秒後に動脈相を、胃癌の場合は肝上縁から腸骨稜レベルまで、大腸癌の場合は肝上縁から直腸を十分含むレベルまで撮像する。その後、胃癌の場合動脈相撮影開始から30秒後に門脈相を撮影する³⁾。最後に、平衡相を造影剤注入開始より100秒後に胸部から骨盤部まで撮影する。

転移の有無のチェックも行うので、胸部から骨盤部までの撮影も行っている。

表1 撮像条件等

CT 撮影 条件	管電圧 (kV)	120
	管電流 (Ref. mAs)	240
	ローテーションタイム (sec/rot)	0.5
	ディテクタ構成	0.6×32
	Pitch ファクター	1.3
	撮像 タイ ミング	動脈相
門脈相(胃癌の場合のみ)		動脈相 scan start 後+30 秒後に scan start
平衡相		造影剤注入開始より100秒後
造影剤 注入 条件	濃度	370mgI/ml
	注入量	100ml
	注入速度	3.5～4.0ml/sec
	注入針	20G
画像 再構成 条件	再構成スライス厚	1 mm
	再構成間隔	1 mm

画像処理について

画像処理は、VR (Volume Rendering) と MIP (Maximum Intensity Projection) の処理を行い、画像を提供している。

VR 画像は主として、骨、大腸、胃、動脈、静脈、門脈、腫瘍、マーキングクリップなどの位置関係を把握しやすいように、それぞれ色分けし、重ねた画像を提供している。

MIP 画像は主として、VR 画像では表現しきれていない微細な血管と、石灰化の情報を含んだ画像を提供している。

①胃癌に関して

動脈相で、動脈、骨、胃、腫瘍、マーキングクリップをそれぞれ抽出し、門脈相で門脈を抽出する。それを重ね合わせた(フュージョン)画像を表示する。

まず、動脈相で動脈、腎臓、骨のフュージョンを作成する(図1)。次いで、門脈相で門脈、胃、クリップのフュージョンを作成する(図2)。最後に動脈相と門脈相で作成した画像をフュージョンする(図3)。動脈相での動脈だけのMIP画像を作成する(図4)。門脈だけのMIP画像を作成する(図5)。それぞれ任意の方向で画像を保存する。この時の注意として腹腔鏡下手術時視野方向を意識し視点を正面から尾頭方向に倒したViewを追加、提供する。

②大腸癌に関して

動脈相のみのデータで、動脈、大腸、骨、腫瘍、マーキングクリップをそれぞれ抽出し、それぞれ色分けを

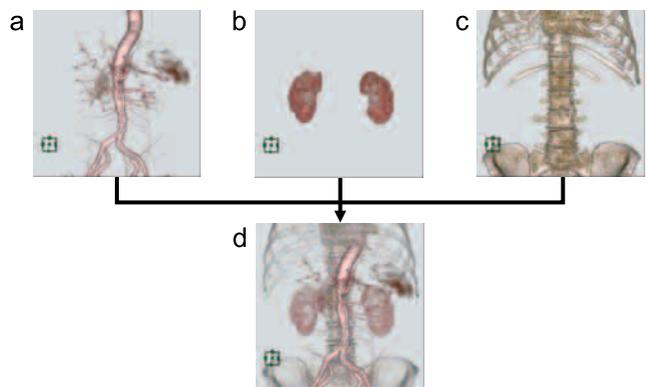


図1 動脈相のフュージョン画像
a. 動脈 b. 腎臓 c. 骨 d. フュージョン画像

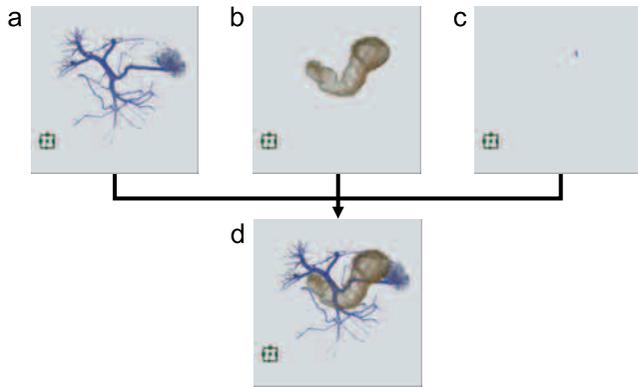


図2 門脈相のフュージョン画像
a. 門脈 b. 胃 c. クリップ d. フュージョン画像

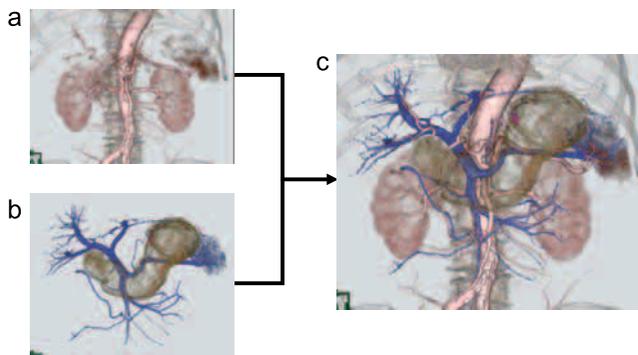


図3 動脈相と門脈相のフュージョン画像
a. 動脈相 b. 門脈相 c. フュージョン画像



図4 動脈相のMIP画像

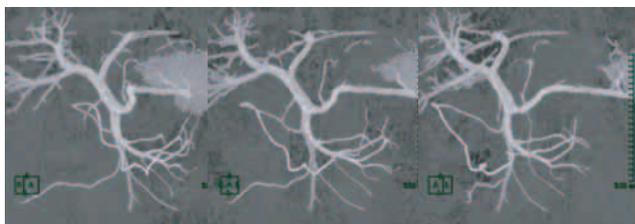


図5 門脈相のMIP画像

行い重ね合わせた画像を表示する。

まず、大腸、腫瘍、抽出できればマーキングクリップやリンパ節のフュージョンを作成する(図6)。次いで、動脈相で動脈、腎臓、骨のフュージョンを作成する(図7)。そして全てをフュージョンする(図8)。それぞれ任意の方向で画像を保存する。この時の注意として腹腔鏡下手術時視野方向を意識し正面から尾頭方向に視点を倒したViewを、S状結腸や直腸の場合は頭尾方向からのViewを追加、提供する。

手術を行う外科医からの要望

外科医からの要望を表2に示す。腹腔鏡下による胃癌や結腸癌の手術時に必要な情報として、胃切除術の場合、腹腔動脈の3分枝(総肝動脈、脾動脈、左胃動

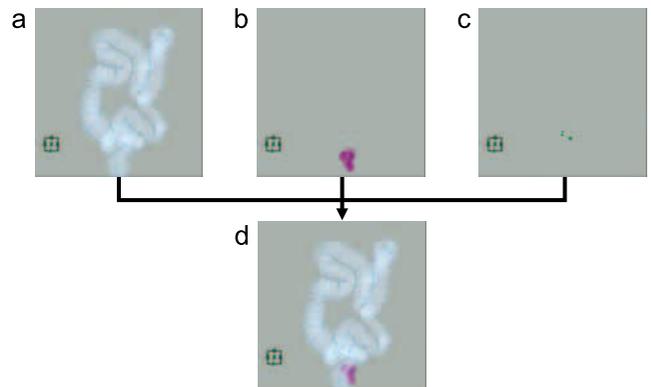


図6 直腸癌腹腔鏡下術前、大腸フュージョン画像
a. Air注入後の大腸 b. 腫瘍 c. リンパ節 d. フュージョン画像

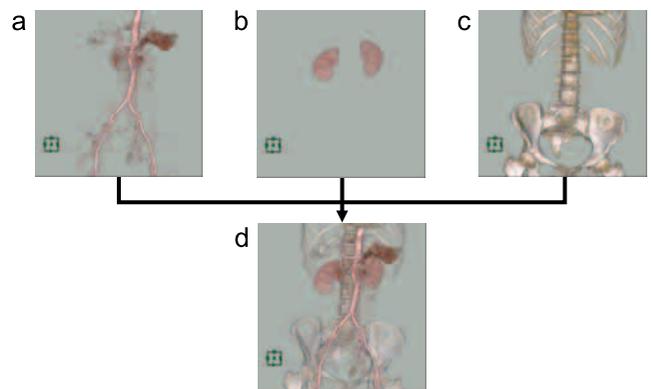


図7 直腸癌腹腔鏡下術前、動脈相のフュージョン画像
a. 動脈 b. 腎臓 c. 骨 d. フュージョン画像

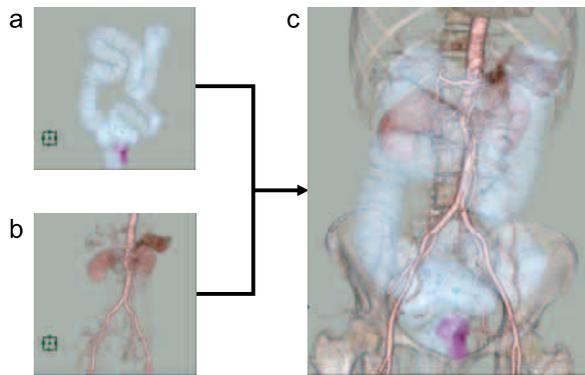


図8 大腸と動脈相のフュージョン画像
a. 大腸 b. 動脈相 c. フュージョン画像

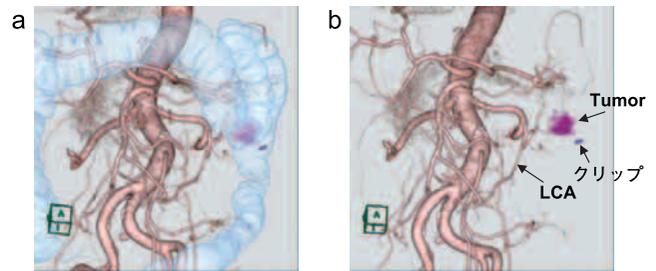


図9 大腸と結腸動脈と腫瘍の位置関係がよく分かる1例
a. 動脈と大腸とTumorのフュージョン画像
b. 動脈とTumorのフュージョン画像
LCA：左結腸動脈

表2. 各種腹腔鏡下手術におけるCT-Aの重点的描出血管

胃切除	総肝動脈, 脾動脈, 左胃動脈, 左胃静脈
結腸右半切除	上腸間膜動脈, 回腸動脈, 右結腸動脈, 中結腸動脈
結腸左半切除	下腸間膜動脈, 左結腸動脈
S状結腸切除及び直腸前方切除など	下腸間膜動脈, 左結腸動脈, S状結腸動脈, 直腸動脈

脈)の分岐形態と左胃動脈より左肝動脈の起始異常などの有無と左胃静脈の描出が必須となる。

結腸右半切除術の場合, 上腸間膜動脈より分岐する回腸動脈, 右結腸動脈, 中結腸動脈のそれぞれの走行の描出が必要である。

結腸左半切除術の場合, 左結腸動脈の下腸間膜動脈よりの分岐と走行, また, Riolan弓の有無とその走行の描出が必要である。

S状結腸切除術及び直腸前方切除術などの場合, 下腸間膜動脈の走行と各分枝(左結腸動脈, S状結腸動脈, 直腸動脈)の走行, 特に左結腸動脈の走行の描出が必要である。

特に有用であった症例

下行結腸癌の症例で下腸間膜動脈からの左結腸動脈の走行や腫瘍との位置関係が良く把握できた例(図9)や, 上腸間膜動脈よりの副左結腸動脈と下腸間膜動脈よりの左結腸動脈とのRiolan弓が描出された例(図10)や, 左胃静脈が左肝内門脈に流入しているのが把握できた例(図11)や, 左胃動脈が大動脈から直

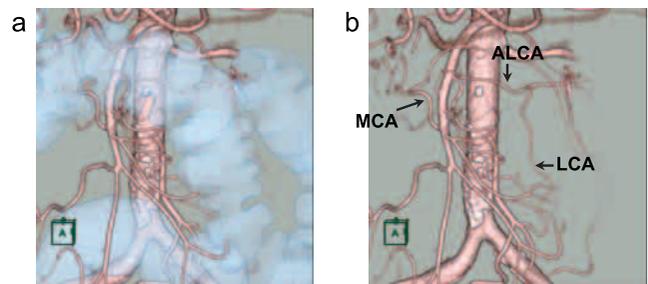


図10 Riolan弓が描出された1例
a. 動脈と大腸のフュージョン画像 b. 動脈画像
LCA：左結腸動脈 MCA：中結腸動脈
ALCA：副左結腸動脈

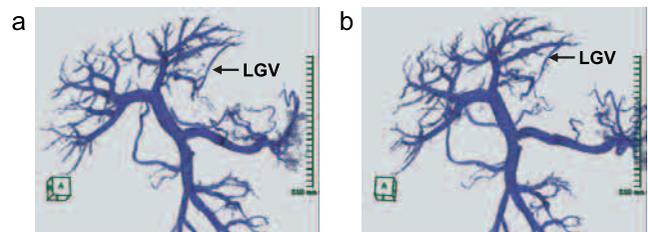


図11 LGVが肝内門脈に流入している1例
LGV：左胃静脈

接分岐しており, また左肝動脈より分岐している例(図12)などの症例を経験した。

考 察

前処置に関して, 外科医の要望より当初手術時は絶食状態なので検査時も胃を膨らまさない様に撮影して

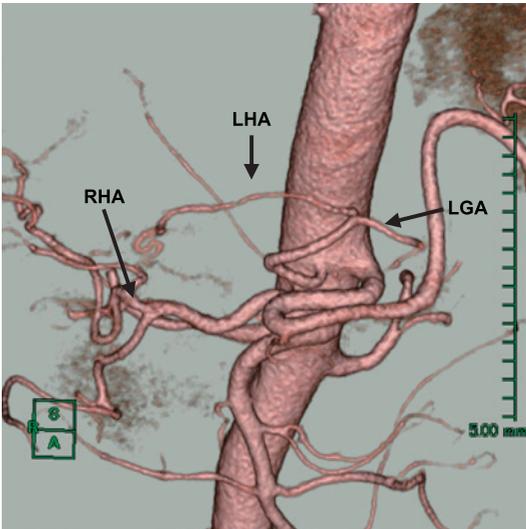


図12 LGAが大動脈より分岐している1例
(LHAがLGAより分岐している)
LGA：左胃動脈 LHA：左肝動脈 RHA：右肝動脈

欲しいとの意見があり、胃癌は原則絶食であるが、数例間違えて食事を摂られて来院した人で、左胃静脈の描出が容易な症例があった。これは、食事をする事によって胃の血流量が増えたことによると思われ、今後、絶食を取りやめるかどうか検討する必要があると考えられる。

大腸癌では基本的に内視鏡検査後に続いてCT検査を行うので、内視鏡検査時の前処置が適用される。大腸内視鏡検査終了時に大腸内の空気を残したままCT検査を行う。位置決め撮影時か単純CT撮影時に大腸に空気が十分残っていない場合、追加で空気の注入を行っているが、バルーンをCT室で再挿入することになるので、内視鏡検査後バルーンを留置して置くことが出来ないか検討中である。

造影剤は現在、体重×2 ml 基本で最大100mlを使用しているが、どうしても体重が重い人はCT値が低くなりやすく血管描出等に不都合をきたす³⁾。できれば100ml以上を使用したいのであるが、病院の薬剤在庫の関係で150mlのシリンジを使用できていないのが現状である。

注入速度は3.5～4 ml/secで行っているが、文献的⁴⁾には4 ml/secと5 ml/secでは有意に造影効果に差がある。従って今後当院でも5 ml/secに変更予定である。

撮影タイミングは動脈相ではbolus tracking法を

使用し、大動脈の腹腔動脈分岐部でROIを設定し、CT値が110HUを越えてから5秒後に撮影開始している。胃癌の門脈相は現在、動脈相撮影開始後30秒で撮影しているが、中には動脈と門脈のCT値があまり変わらず、WSで処理する時に苦労するときがある。個々の循環機能にも影響されていると思われるが、注入速度、注入量、造影剤濃度も含めて検討する必要がある⁵⁾。

動脈と門脈をフュージョンさせるのに1つの大きな問題点として、CT撮影時での時相が違うので呼吸量による位置のズレが生じることがある。動脈相と門脈相を一度の呼吸停止下で撮影すればよいのであるが⁶⁾、どうしても息止め時間が30秒を越えてしまう。患者様によってはとても無理な人が多いので当院では動脈相、門脈相をそれぞれ分けて息止めしてもらっている。WSの処理時に位置のズレを修正しているが、完全では無いので簡易に合わせる方法を検討する必要がある。また、位置補正には2つ大別され、XYZ方向の移動や回転による剛体位置補正と、局所的な伸縮やズレと行った歪みを伴った非剛体位置補正に分けられ、呼吸停止によるズレは非剛性位置補正が必要である⁷⁾。しかし現在のWSでは剛体位置補正しか開発されておらず、非剛体位置補正のソフト開発が望まれる。

WSの性能も一昔前に比べると格段に早く良くなっているが、自動での骨抜きや、血管抽出時に満足のいくWSは現在無く、どうしても手動での修正が必要になる。処理を行う技師の個々レベルの違いにより、処理に掛かる時間が大きく違ってくる。

VR、MIP等の表現方法も現在適当と思われる方向の画像を保存してWeb配信しているが、外科医がもう少し違った角度からの画像が見たくてもWebでは見ることができない。今後、ネットワーク対応のWSの採用などにより、3D配信が出来るようになれば、3D処理を放射線技師が行い保存しておき、外科医が任意の方向を診察室や手術室で自由に見ることが出来るように環境整備を行うべきである。

まとめ

腹腔鏡下手術は開腹手術に比較して患者様の負担も遙かに低く、QOLを高く保つことが出来る手技である。近年の腹腔鏡下による術式が増加しているが、開腹手

術と比較して手技的には難度が高くなるものの、3D-CTAにて術前に動脈や静脈の走行や起始異常の有無、また臓器等との位置関係を把握しておくことは重要である。外科医の意見として、手術時の確認作業を大幅に軽減し、手間を減らせることができ、術者が感じるストレスは大幅に軽減されるようである。また、血管等の損傷を起こすことは考えられないとのことである。郭清をより広範囲に腹腔鏡下で行うことが出来る等、利点が多く3D-CTAは腹腔鏡下手術の一助に十分なる検査方法である。

現在の当院における腹腔鏡下術前3D-CT Angiographyの現状について紹介したが、今後、より簡易に正確に抽出できるようにするには、撮影タイミングや造影剤の注入方法等のさらなる検討が必要であろう。また、WSでの処理に関してもますます性能の進歩を期待したい。誰が処理しても簡単に骨と血管の抽出が自動で行え、フュージョン画像も簡単に表示されるWSの開発が待たれる。

文 献

- 1) Kumano S, Tsuda T, Tanaka H et al: Preoperative Evaluation of Perigastric Vascular Anatomy by 3-Dimensional Computed Tomographic Angiography Using 16-Channel Multidetector-Row Computed Tomography for Laparoscopic Gastrectomy in Patients With Early Gastric Cancer. *J Comput Assist Tomogr* 31:93-97, 2007
- 2) 松木 充, 稲田悠紀, 中井 豪, 他: 腹腔鏡下胃癌, 大腸癌手術の術前マッピング. *映像情報 Medical* 38:767-773, 2006
- 3) Kondo H, Kanematsu M, Goshima S et al: MDCT of the Pancreas: Optimizing Scanning Delay with a Bolus-Tracking Technique for Pancreatic, Peripancreatic Vascular, and Hepatic Contrast Enhancement. *Am J Roentgenol* 188:751-756, 2007
- 4) Tanikake M, Shimizu T, Narabayashi I et al: Three-dimensional CT Angiography of the Hepatic Artery: Use of Multi-Detector Row Helical CT and a Contrast Agent. *Radiology* 227:883-889, 2003
- 5) Behrendt FF, Mahnken AH, Keil S et al: Contrast enhancement in multidetector-row computed tomography (MDCT) of the abdomen: intraindividual comparison of contrast media containing 300 mg versus 370 mg iodine per ml. *Eur Radiol* 18:1199-1205, 2008
- 6) Matsuki M, Tanikake M, Kani H et al: Dual-Phase 3D CT Angiography During a Single Breath-Hold Using 16-MDCT: Assessment of Vascular Anatomy Before Laparoscopic Gastrectomy. *Am J Roentgenol* 186:1079-1085, 2006
- 7) 松木 充, 可児弘行, 吉川秀司, 他: multiphase fusion 法による胃周囲動静脈3次元血管像においてXYZ軸の位置補正を試みた1例. *日医放学会誌* 64:60-62, 2004

Current Status of 3 D-CT Angiography before Laparoscopic Surgery at Our Hospital

Yoshiharu FUKUI¹⁾, Takuya AKAGAWA¹⁾, Naoki KURATA²⁾, Hayato TANI²⁾

1) Radiologist, Tokushima Red Cross Hospital

2) Division of Radiology, Tokushima Red Cross Hospital

Recently, there have been remarkable advances in devices for CT scans. CT technology has been advancing from conventional CT to helical CT and multi-slice CT (MSCT). In addition to the high spatial resolution, CT devices have recently come to have progressively high temporal resolution. Workstations used for CT have also been advancing.

Laparoscopic surgery has recently been performed actively as a means of improving the QOL of patients. However, since laparoscopic surgery relies on manipulation under endoscopic guide, the operative field is small and much time is taken to assess the anatomical relationship between organs and blood vessels.

Preoperative approximate determination of the anatomical relationship of the arteries and veins around the target organ using 3 D-CT angiography (3 D-CTA), a noninvasive test, is very useful in ensuring rapid and safety laparoscopic surgery.

Also at our hospital, 3 D-CTA before laparoscopic surgery was performed on about 80 cases from November 2008 and to date (September 2008), and the results were highly appraised by surgeons. We present the current status of this technique at our hospital and improvement made to date.

Key words: MSCT, workstations, laparoscopic surgery, 3 D-CTA

Tokushima Red Cross Hospital Medical Journal 14:144–150, 2009
