



Title	腹部血管の造影ヘリカルCTによる三次元立体表示
Author(s)	清水, 雅史; 新武, 慶興; 上杉, 康夫 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1995, 55(14), p. 946-951
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15408
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

腹部血管の造影ヘリカルCTによる三次元立体表示

清水 雅史 新武 慶興 上杉 康夫 山本 和宏
雑賀 良典 相模 昭彦 芦名 謙介 松井 律夫
末吉 公三 河合 武司 楢林 勇

大阪医科大学放射線医学教室

Three-dimensional Helical CT Angiography of the Abdomen

Tadafumi Shimizu, Keikou Aratake, Yasuo Uesugi, Kazuhiro Yamamoto, Yoshinori Saika, Akihiko Sagami, Kensuke Ashina, Ritsuo Matsui, Kozo Sueyoshi, Takeshi Kawai and Isamu Narabayashi

To evaluate the quality of three-dimensional (3D) images of the abdominal vasculature acquired using enhanced helical CT, 3D reconstructions were performed for 43 examinations (38 patients). Twenty-one of 43 examinations were also reconstructed by Maximum Intensity Projection (MIP).

The CT scanner employed was the Toshiba Xforce. Helical CT data were acquired using up to 20 continuous 1.5-sec rotations with an X-ray beam width of 5 mm and a couchtop movement speed of 5 to 10 mm/1.5 sec. Axial images were reconstructed at a section interval of 2 mm. Optimal protocol on enhanced helical CT was as follows: Iopamidol 300 mg I/ml was administered intravenously using a biphasic technique (3-4 ml/sec for the initial 100 ml, followed by 0.7-1.5 ml for the remaining 50 ml), and delay times of the early and late phases were 25-35 and 90 sec, respectively. Aortic branches were clearly demonstrated on early phase, while portal branches were well defined on late phase. In the visualization of abdominal vessels, 3D images were nearly equal to MIP images. However, for anteroposterior images, MIP images were superior to 3D images in quality, because 3D images had some longitudinal direction artifacts. Three-dimensional images were considered to be useful for correctly evaluating overlapping abdominal vasculatures. From the above results, 3D and MIP images of the abdominal vasculature obtained using enhanced helical CT were considered to compensate for each other.

Research Code No. : 517.2

Key words : Helical CT, 3D, Portal vein, Abdominal aorta, Maximum intensity projection

Received Jun. 6, 1994; revision accepted Nov. 2, 1994
Department of Radiology, Osaka Medical College

はじめに

ヘリカルCTが臨床応用され¹⁾⁻³⁾, 腹部領域においても, 肝⁴⁾⁻⁶⁾, 膵^{7), 8)}に対する有用性が報告されている. 以前より, 二次元画像であるCTを三次元(3D)表示することは, 臓器や病巣の立体的把握が容易となり有用と考えられ⁹⁾, 試みられてきたが, 特に上腹部領域では, 呼吸停止の深淺によりスライス間の連続性に問題点が見られた. ヘリカルCTは, 1回の呼吸停止下に広範囲の撮像が可能で, ボリュームスキヤンであるという特徴を有しており, 3D画像の作成に適している. また, 血管の良好な造影増強効果が得られることから, CT値の差を利用した腹部血管の三次元立体表示が試みられている¹⁰⁾⁻¹²⁾. 今回, われわれは, 種々の造影方法の造影ヘリカルCTを用いて腹部血管(門脈分枝, 大動脈分枝)の3D表示を施行し, それらの描出能について比較検討し, さらにMaximum Intensity Projection(MIP)像との比較も行ったので報告する.

対象および方法

対象は, 肝細胞癌24例, 肝海綿状血管腫2例, 門脈海綿状血管形成1例, 腎癌7例, 副腎腫瘍3例, および腹部大動脈瘤1例の計38例, 延べ43回である(Table 1).

使用したCT装置は, 東芝社製Xforceで, 撮影条件は120kVp, 150mAである(Table 2). X線ビーム幅は5mmとし, テーブル移動速度は, 5mm~10mmで, スキャン範囲に応じて適宜変更した(Table 3). テーブル移動速度8mmは腎癌の1例, 10mmは副腎腫瘍1例, および腹部大動脈瘤1例であった. 呼吸停止を確実にするために, スキャン前に酸素5ℓ/分, 5分間の吸入を施行した. 全例が造影CTで, スキャン時間は1回転1.5秒で計20回転, 30秒のヘリカルスキヤンを行った. 補間再構成アルゴリズムは, 360°補間法を用いて, 2mm間隔で横断像を作成した. それらのデータを1/2カートリッジテープを用いてSun Workstationにオフラインで転送し, 画像作成は, CEMAX-VIPstationを用いて, 全例に3D画像, および21例にMIP像を作成した.

造影方法およびスキヤンタイミングは, Iopamidol 300mg I/

ml計100mlを経静脈的に投与したものをGroup 1, Iopamidol 300mg I/mlを計150mlを経静脈的に投与したものをGroup 2, 血管造影施行時に, 経カテーテル的に上腸間膜動脈からIopamidolを投与したものをGroup 3とした(Table 4). Group 2の撮影プログラムは, まず造影剤100mlを秒間3~4mlで注入し, 残り50mlを秒間0.7-1.5mlで注入するもので, 注入開始25-30秒後に早期像, 90秒後に後期像の連続2回のヘリカルCTを施行した. 今回の検討でのGroup 2の施行例では, いずれの症例においても早期像と後期像を比較すると早期像で動脈優位の画像が得られ, 90秒後の後期像で門脈優位の画像が得られたことから, 大動脈分枝の表示には早期像を, 門脈分枝の表示には後期像を用いた.

症例1にGroup 2の1例を示す. この撮影プログラムでは, 早期像では, 動脈相優位の像が, 後期像では, 門脈相優位の像が得られている(Fig.1).

検討方法を以下に示す.

(1) 3D表示における門脈枝の描出能の検討

肝臓をヘリカルスキャンした27例(32回)について検討した. その内訳は, 肝細胞癌24例, 肝海綿状血管腫2例, および門脈海綿状血管形成1例である. 造影方法およびスキャンタイミングは, Group 1: 8回, Group 2: 19回, Group 3: 5回の計27例(延べ32回)である. Group 2では, 後期像のデータを用いて3D画像を作成した.

門脈枝の3D表示は, 抽出CT値の閾値を上限値は900-1,000 HUとし, 下限値は, 門脈2次分枝のCT値を基準値として設定し, 適宜増減した. 下限値は, Group 1: 90-200 HU, Group 2: 120-200 HU, Group 3: 180-250 HUであった.

得られた3D画像について, 最も良好に描出された部位の門脈2次分枝を, poor, good, excellentの3段階で評価した. その判定基準は, 門脈2次分枝が分離同定できないものをpoor, 同定可能なものをgood, 明瞭に描出されたものをexcellentとした(Table 5).

(2) 門脈枝の描出能についての3D画像とMIP像との対比検討

肝臓をヘリカルスキャンし, 門脈枝について3D画像とMIP像をともに作成した10例(延べ15回)で検討した. その内訳はGroup 1: 3回, Group 2: 7回, Group 3: 5回である. 上面像, 下面像, 前後像について, おのおのの症例について対比検討した.

Table 1 Materials

Clinical diagnosis	No. of cases (exams)
Hepatocellular carcinoma	24 (28)
Hepatic cavernous hemangioma	2
Cavernous transformation of portal vein	1 (2)
Renal cell carcinoma	7
Adrenal tumor	3
Abdominal aortic aneurysm	1
Total	38 (43)

Table 2 Methods

CT scanner : Xforce (Toshiba Co.)
Scan condition : 120 kV, 150mA, 1 rot/1.5 sec
X-ray beam width : 5 mm
Couchtop speed (/1.5 sec) : 5~10 mm
Scanning time : 30 sec (20 rot)
Pretreatment : O ₂ inhalation via face mask, 5ℓ/min for 5 min
CE-CT : Iopamidol 300 mgI, injection rate 1.5~4 ml/sec (uniphasic or biphasic) , total dose 100~150 ml
Interpolation algorithm : 360° linear interpolation
Reconstruction interval : 2 mm
Images : 3D images (shade color) ; all exams MIP ; 21 exams using CEMAX-VIP station (CEMAX Co.)

Abbreviations

rot : rotation, sec : second, 3D : three-dimensional
exam : examination, MIP : Maximum Intensity Projection

Table 3 Selected couchtop speed (mm)
(X-ray beam width : 5 mm)

Couchtop speed (/1.5 sec)	5	6	7	8	10
No. of exams	18	4	18	1	2
Total 43 exams (38 cases)					

Table 4 Scan protocols of enhanced helical CT

Group 1 : IV, Iopamidol 300 mgI/ml, total 100 ml, 1.5-3 ml/sec, delay time : 40-50 sec
Group 2 : IV, Iopamidol 300 mgI/ml, total 150 ml, biphasic, 3-4 ml/sec for the initial 100 ml, followed by 0.7-1.5 ml/sec for the remainder delay time : 25-35 sec (early phase), and 90 sec (late phase)
Group 3 : SMA-IA, Iopamidol 300 mgI/ml (X1, 2, or 3), total 60-90 ml, 3 ml/sec, delay time : 25-40 sec

Abbreviations IV : intravenously, SMA : superior mesenteric artery, IA : intraarterially

(3) 大動脈分枝の描出能の検討

大動脈分枝の描出能については, 腎癌7例, 副腎腫瘍3例, および腹部大動脈瘤1例の計11例について, 検討した.

いずれも, Group 2のプロトコールで施行しており, 早期像のデータを用いて3D画像およびMIP像を作成した. 全例に血管造影を施行しており, 大動脈分枝の描出能について血管造影像と対比検討した.

結 果

(1) 3D表示における門脈枝の描出能の検討

カイ2乗検定にて、Group 2, 3が1よりも優れており ($P < 0.05$, $P < 0.01$), Group 2と3の間には有意差は見られなかった (Table 6).

症例2は、Group 2の施行例で、上面像、前後像ともに区域支が明瞭に描出されており、excellentと判定された (Fig. 2).

(2) 門脈枝の描出能についての3D画像とMIP像との対比検討

門脈区域枝の描出能については、上面像、下面像につい

ては15例中11例で同等であり、3D画像とMIP像の門脈枝描出能は、ほぼ同等であった。前後像については、MIP像の画質が優れていた (Table 7).

以下に症例を示す。

症例3は、Group 3のPortal CTの症例で、肝右葉実質が濃染しているために、3D画像では、右葉枝が不明瞭となっている。MIPが3D画像よりも優れていた症例である。また、前後像では、3D画像は、体軸方向のアーチファクトが目立っている。MIP像は、画質が優れているが、2次元画像であるため、血管の前後関係の把握には多方向からの画像作成が必要である (Fig.3).

Table 5 Criteria of evaluation in the observer test

poor : Segmental branch was not visualized. good : Segmental branch was visualized. excellent : Segmental branch was clearly visualized.



Fig.1 A 52-year-old woman with hepatic hemangiomas
Total dose of 150 ml lopamidol 300 mg/ml was administered intravenously as biphasic (3.5 ml/sec for the initial 100 ml, followed by 1.3 ml for the remainder 50 ml).

(A) Early image (delay time : 30 sec). Hepatic arteries were dominantly demonstrated.

(B) Late image (delay time : 90 sec). Portal branches were clearly visualized.



Fig.2 A 52-year-old woman with hepatocellular carcinoma
Total dose of 150 ml lopamidol 300 mg/ml was administered intravenously as biphasic (3 ml/sec for the initial 100 ml, followed by 1.0 ml for the remainder 50 ml). Delay time was 90 sec. On 3D images, secondary portal branches were clearly demonstrated three-dimensionally. This case was judged as excellent.

(A) Three-dimensional image (superoinferior view)

(B) Three-dimensional image (anteroposterior view)

(3) 大動脈分枝の描出能の検討

① 腹腔動脈, 上腸間膜動脈, 総肝動脈, 脾動脈, 腎動脈は全例で描出され, 3D画像およびMIP像は, 同等であった.

② 前後像では, 画質は, 3D画像では体軸方向のアーチファクトが目立ち, MIP像が優っていた. テーブル移動速度10mmの2例では, 画質がやや劣るものの, 腎動脈の観察は可能であった. 3D画像では, 造影された腸管, 腎静脈や脾静脈を除去した再構成範囲を設定する必要がある症例があった. 前後像で, MIP像では, 椎体を除去した再構成範囲を設定する必要があり, 大動脈が高濃度に造影され高い吸収値を呈した場合, 腹腔動脈, 上腸間膜動脈の起始部が隠されること, などの欠点が見られた.

以下に症例を示す.

症例4は, 副腎腫瘍例の前後像で, 3D画像では, 造影された脾臓, 腸管, 左腎静脈のために腎動脈が見えないが, MIPでは明瞭に描出されている.

Table 6 Visualization of portal branches

	poor	good	excellent	
Group 1	2	6	0	* NS **
Group 2	0	10	9	
Group 3	0	0	5	

Note : * : P<0.05, ** : P<0.01, NS : Not significant

Table 7 Comparison between 3D images and MIP for portal branches (No. of cases)

Superoinferior and/or oblique images		
Group 1 : 3D>MIP		2
3D=MIP		1
Group 2 : 3D>MIP		1
3D=MIP		6
Group 3 : 3D=MIP		4
3D<MIP		1
Anteroposterior images		
3D<MIP		14

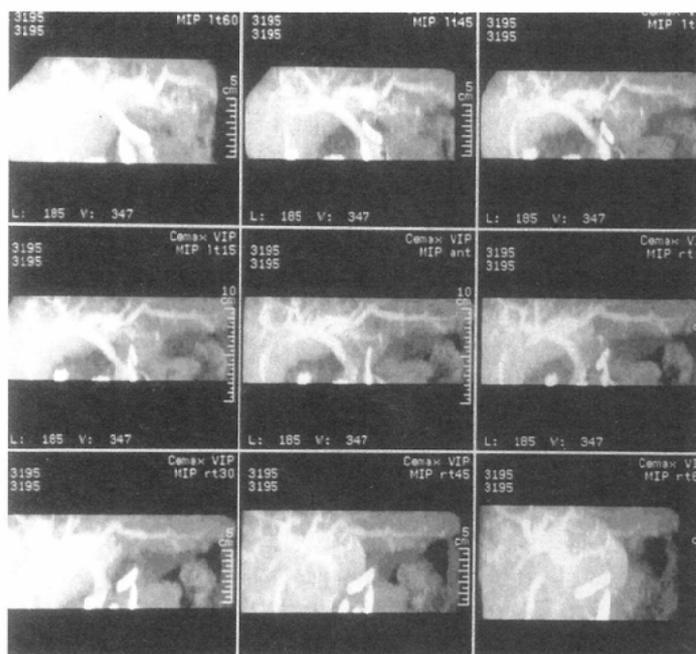
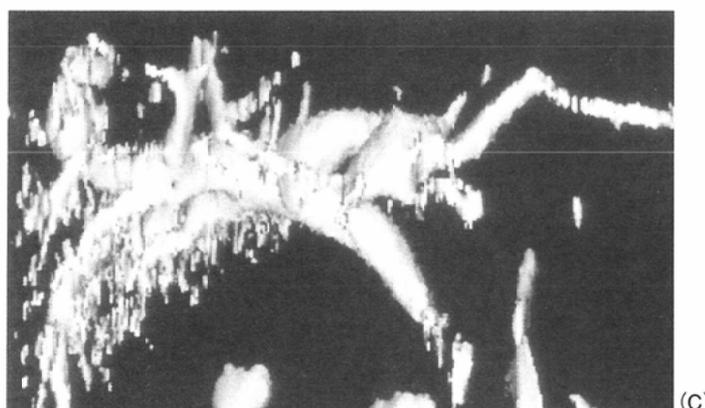
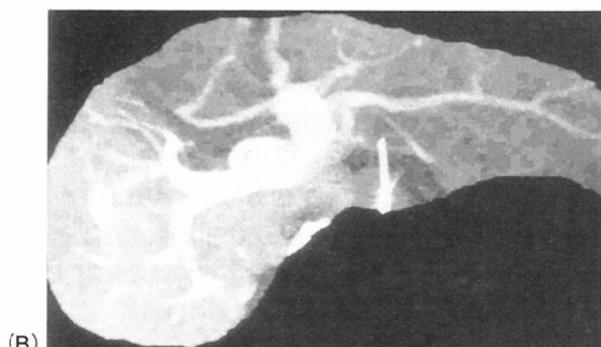
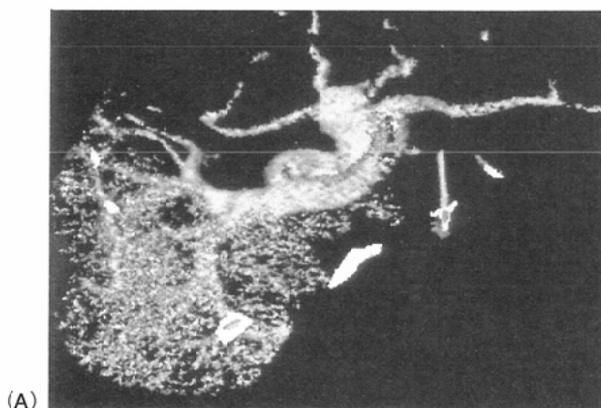


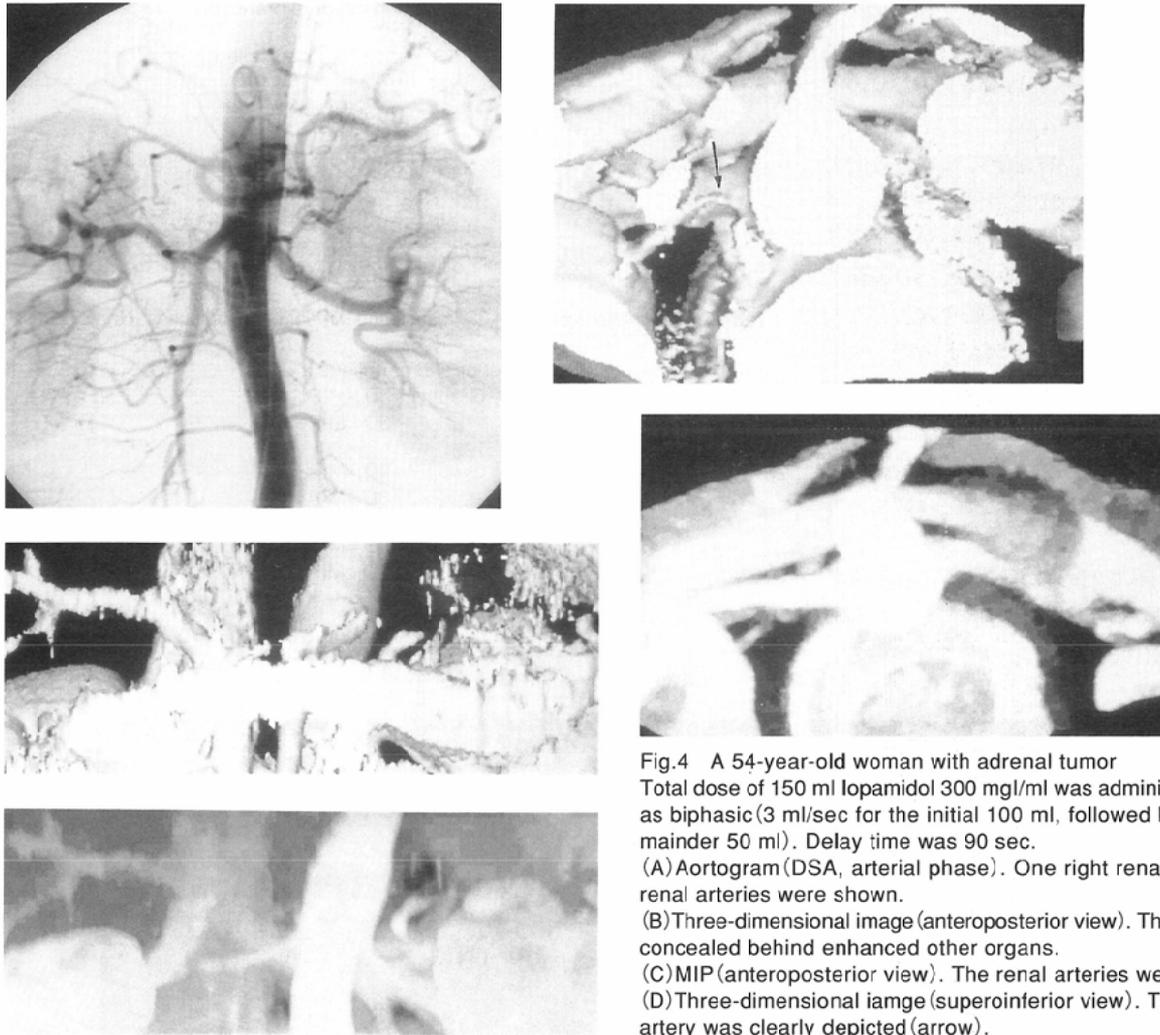
Fig.3. A 60-year-old woman with hepatocellular carcinoma Total dose of 60 ml Iopamidol 150 mg/ml was administered to superior mesenteric artery via catheter at a rate of 3 ml/sec.

(A) Three-dimensional image (superoinferior view). At the right lobe secondary portal branches were obscure because of parenchymal enhancement.

(B) MIP (superoinferior view). Secondary portal branches were clearly depicted at right lobe.

(C) Three-dimensional image (anteroposterior view). Three-dimensional image was useful for evaluation of overlapping portal branches correctly, however had somewhat longitudinal direction artifacts.

(D) MIP (anteroposterior view). MIP was superior to 3D images on image quality. However, several projection quality images were necessary for three-dimensional observation.



A	D
B	E
C	

Fig.4 A 54-year-old woman with adrenal tumor
 Total dose of 150 ml Iopamidol 300 mg/ml was administered intravenously as biphasic (3 ml/sec for the initial 100 ml, followed by 1.0 ml for the remainder 50 ml). Delay time was 90 sec.
 (A) Aortogram (DSA, arterial phase). One right renal artery and two left renal arteries were shown.
 (B) Three-dimensional image (anteroposterior view). The renal arteries were concealed behind enhanced other organs.
 (C) MIP (anteroposterior view). The renal arteries were demonstrated.
 (D) Three-dimensional image (superoinferior view). The smaller left renal artery was clearly depicted (arrow).
 (E) MIP (superoinferior view). The smaller left renal artery was shown, but the origin of artery was concealed by the larger one.

また、2本の左腎動脈のうちの細い方の1本は、3D画像、MIP像ともに描出されているが、MIP像では、角度を変えても重なりを避けられず、起始部が不明瞭である (Fig. 4)。

考 案

二次元画像であるCTを三次元表示することは、臓器や病巣の立体的把握が容易となり有用と考えられる⁹⁾。近年のCTの進歩として、ヘリカルCTが腹部にも臨床応用され、その有用性が報告されている^{4)-8), 10)-12)}。特に、1回の呼吸停止下に短時間で広範囲の撮像が可能のため、良好な造影効果と連続性のよい画像が得られる利点があり、画質の良いMPRおよび三次元画像を作成することが可能である。また、スキャン前の酸素5ℓ/分、5分間の吸入は、呼吸停止を確実にするためには有効で、30秒間の呼吸停止は全例で可能であった。

今回の検討では、X線ビーム幅とテーブル移動速度については、X線ビーム幅は5mmとし、テーブル移動速度は、5mm~10mmで、スキャン範囲に応じて適宜変更した。横断

像はいずれの場合にも2mm間隔で作成し、それらのデータから3D画像、MIP像を作成した。テーブル移動速度と画質の関係については、テーブル移動速度10mmの2例では、画質がやや劣るものの、腎動脈の観察は可能であった。

腹部造影ヘリカルCTにおける造影剤の投与方法および撮影タイミングについては、われわれの初期の検討では、Group 1の方法を用いていた^{5), 6)}。他施設の報告では、総量120mlを3ml/secで注入するもの⁴⁾、ヘリカルCT前に、総量18mlを3ml/secの注入速度でL1レベルでdynamic CTを施行して、大動脈のCT値を測定しdelay timeを決定するもの¹²⁾などが見られた。われわれの施設でも、よりよい造影効果を得るため造影剤量を150mlと増量することとした。また、病巣部のdynamic studyを施行するため連続2回のスキャンを行うこととしたが、装置の性能上の制約で早期像と後期像の間に30秒の休止期間を要するため、Group 2の撮影プログラムは注入開始30秒後に早期像、90秒後に後期像の連続2回のヘリカルCTを施行することを原則とした。今回の検討でのGroup 2の施行例では、いずれの症例においても早期像と後期像を比較すると、早期像で動脈優位の画像が得られ、

90秒後の後期像で門脈優位の画像が得られたことから、大動脈分枝の表示には早期像を、門脈分枝の表示には後期像を用いることにしたものである。

門脈分枝の描出能に関する造影剤の投与方法および撮影タイミングの比較では、Group 2がGroup 1よりも明らかに優れていた。Group 3は、動注による方法であるためGroup 1よりも当然優れていたが、区域レベルではGroup 2との間に有意差が見られなかったことから、静注法としては、Group 2が優れた方法であると考えられた。

3D画像は、任意の方向からの観察ができ、脈管の立体的把握が可能となり有用であるが、閾値の設定により画像が変化することが欠点である¹⁰⁾⁻¹²⁾。すなわち、設定した抽出閾値の下限値以下のピクセルの情報は失われる。また、抽出閾値内のピクセルは同一の濃度に描出されるため、血管壁の石灰化も区別できない¹²⁾。CEMAX VIPstationには、半透明表示やCT値を8種類に区分して表示する機能を有するが、現段階では、surface displayとしての表示のみを行っており、今後の検討課題である。また、横断像からの再構成画像であるため、体軸方向のアーティファクトが目立つことも欠点の一つである。また、腹部大動脈の前後像で、脾臓や腸管などが高濃度に造影される場合には、それらを除去した再構成領域を設定する必要がある。

MIP像は、閾値設定の必要がないことから一定の画像が得られる利点がある。また、3D画像と比較して、末梢血管の描出が可能であると報告されている¹⁰⁾⁻¹²⁾。今回のわれわれの検討では、門脈区域枝の描出では、3D画像とほぼ同等であったが、前後像では、画質は、3D画像よりも優っていた。しかし、前後像の場合には、肋骨や椎体を除去した再構成範囲を設定する必要があり、繁雑であることや、大動脈が高濃度に造影された場合に、腹腔動脈、上腸間膜動脈の起始部を描出しにくいこと、などの欠点が見られた。また、二次元画像であることから、上面からの像と下面からの像は同一画像の鏡面像となり、血管の前後関係の把握に

は多方向からの画像作成が必要である。

今回の検討での3D画像の臨床的有用性に関しては、①肝癌および肝海綿状血管腫例では、門脈分枝に関して、P5とP8、P6とP7の分離同定が容易となり、病巣の存在区域の決定に役立った、また上腸間膜動脈よりreplaced right hepatic arteryが分枝する例では同定が容易であった、②門脈海綿状形成例では、頭尾方向の血管の連続性の把握が容易となった、③腎癌、副腎腫瘍および腹部大動脈瘤例では、腎動脈の同定、特に複数本の例で同定に役立った、などの利点が見られた。また、これらの腹部血管の立体的把握には、今回の検討では3D画像のみで可能であると考えられたが、3D画像とMIP像は、おのおのに長所があり、まず3D画像作成して血管の前後関係を立体的に把握し、末梢血管の描出にはMIP像を併用するなど相補的に利用すべきものであると考えられる。

今後、装置の性能の向上に伴いスキャン時間が短縮すれば、より小さいX線ビーム幅、テーブル移動速度を使用することが可能となり、対向ビーム補間法を用いれば、さらに画質の向上が期待できる。

結 語

造影ヘリカルCTを用いた腹部血管の3D表示は、門脈分枝、大動脈主要分枝の描出が可能で、体軸方向の血管の立体的関係の把握が容易となり有用である。MIP像は、血管の前後関係の把握には多方向からの画像作成が必要となるものの、前後像の画質で優れており、3D表示と相補的に利用すべきものであると考えられる。

なお、三次元表示については、大阪医科大学医学情報処理センターの装置Sun Workstation FUJITSU OEM S-4/330を用いた。本論文の要旨は、第53回日本医学放射線学会総会にて発表した。

文 献

- 1) 片倉俊彦, 木村和衛, 鈴木憲二, 他: CTの基礎的研究 第9報; 螺旋状スキャン(ヘリカルスキャン)の試み. 断層映像会誌 16: 247-250, 1989
- 2) 片田和廣, 安野泰史, 辻岡勝美, 他: ヘリカルCTスキャンの有用性; 174例の臨床経験から. MEDICAL REVIEW 42: 8-18, 1991
- 3) Heiken JP, Brink JA, Vannier MW: Spiral (Helical) CT. Radiology 189: 647-656, 1993
- 4) 市川太郎, 森山紀之, 高安賢一, 他: Helical scanning CTの上腹部への臨床応用. 日本医放会誌 51: 942-949, 1991
- 5) 清水雅史, 新武慶興, 難波隆一郎, 他: 上腹部におけるヘリカルCTによる二次元及び三次元画像の検討. 日本医放会誌 53: 275-282, 1993
- 6) Narabayashi I, Shimizu T, Maeda H: Helical scan CT of the abdomen using the Xpress. Medical Review 44: 13-18, 1993
- 7) Fishman EK, Ney DR, Kuhlman JE, Cameron JL, et al: Multi-dimensional display of spiral CT data; evaluation of pancreas. Radiology 181: 259-260, 1991
- 8) Dupuy DE, Costello P, Ecker CP: Spiral CT of the pancreas. Radiology 183: 815-818, 1992
- 9) 上杉康夫, 植林 勇: CT, MRIの3次元立体表示. Pharma Medica 9: 33-40, 1991
- 10) 吉岡寛康, 熊谷年起, 藤田 眞, 他: Spiral CTによる腹部Angiography; 3D画像とMIP画像の検討. 映像情報 25: 851-854, 1993
- 11) Rubin GD, Dake MD, Napel SA, et al: Three-dimensional spiral CT angiography of the abdomen; initial clinical experience. Radiology 186: 147-152, 1993
- 12) Costello P, Gaa J: Spiral CT angiography of the abdominal aorta and its branches. Eur Radiol 3: 359-365, 1993