原著

Three-dimensional CT Colonography

小倉敏裕・小泉浩一¹⁾・高津一郎論文受付
1999年10月26日論文受理
2000年1月11日

Code No. 251

癌研究会附属病院放射線部

1) 癌研究会附属病院内科

緒言

当院ではCTデータを利用した上部、下部消化器癌の三次元画像構築(以下、3D-CT)を1989年以来数多く試みてきた¹⁻⁷⁾。この10年の間にCTデータの収集はラピッドシーケンススキャン、ヘリカルスキャン、マルチスライスヘリカルスキャンと変遷を重ね、同時に三次元構築プログラムも急速に進歩した。現在、大腸癌と診断された症例で術前の病期診断のため、マルチスライスCTによって肝臓を含めた全腹スキャンを行っ

ている。そのボリュームデータを利用し3D-CT-colonographyを作成している^{8,9)}。CAD(computer-aided diagnosis)とはコンピュータを用いて放射線画像の解析および定量化を自動的に行い、その分析結果を参考にして読影医師が自分の判断も加えて最終的な診断を下すことである¹⁰⁾。3D-CT-colonographyの場合、大腸管腔を自動的にナビゲートしながら視点を進め同時に診断支援、すなわち放射線画像の解析および定量化を自動的に行うというところまで進んでいないのが現

Three-dimensional CT Colonography

TOSHIHIRO OGURA, KOUICHI KOIZUMI,¹⁾ and KAZUAKI TAKATSU

Department of Radiology, Cancer Institute Hospital

1) Department of Internal Medicine, Cancer Institute Hospital

Received Oct. 26, 1999; Revision accepted Jan. 11, 2000; Code No. 251

Summary

We have conducted research on three-dimensional (3D)-computed tomography (CT)-colonography with single and multi-slice helical CT scanning, a recent topic of special interest. CT provides multiple ways to detect colorectal neoplasia including standard axial CT, multiplanar reconstruction (MPR), and 3D-CT-colonography. Furthermore, 3D-CT-colonography offers several methods of visualization using volumetric CT data depending on the threshold setting of CT values. The flythrough system of virtual colonoscopy is worthy of note for computer-aided diagnosis (CAD). Virtual colonoscopy provides real-time endoscopic viewing that simulates fiber-optic endoscopy, by simply pointing at a location in the MPR view. Virtual colonoscopy makes it possible to advance confidently into the digestive tract, except for highly tortuous colons, to turn rapidly at the end of the digestive tract, and to return back along the tract. This method could potentially reduce non-visualized areas between haustra of the colon, but virtual colonoscopy sometimes has difficulty distinguishing polyps from feces. This problem is largely avoided by applying synthesized 3D and MPR images (3D-MPR-CT), which can provide information on the intraluminal orientation of focal abnormalities. Therefore, with progress in CAD, we believe that, combined with the flythrough system and 3D-MPR-CT, virtual colonoscopy might be applied in the future as first-line examinations in screening for colorectal neoplasia.

Key words: Computed tomography (X-CT), Helical CT, Three-dimensional imaging, Virtual endoscopy

別刷資料請求先: 〒170-8455 東京都豊島区上池袋1-37-1

財団法人癌研究会附属病院 放射線部 小倉敏裕 宛

状である。しかし、コンピュータ支援による画像診断という観点から見直してみるとvirtual endoscopyをはじめCTデータを用いた三次元構築画像はCADの一つとして位置付けることができよう。ここでは、通常の大腸のCT検査に診断情報を付加するコンピュータ支援診断としての3D-CT-colonographyについて述べる。

1. 方法

1-1 使用機器

CT装置は複数検出器列CT, LightSpeed QX/i (GE横河メディカルシステム)を使用。

診断支援ワークステーションはAdvantage Workstation/ 64bit Ultra SPARC (GE横河メディカルシステム)を使用した。

1-2 スキャン条件

撮影条件は管電圧120kV, 管電流180mA, 1回転当たりの照射時間は0.8secである。検出器は体軸方向に1.25mm幅のディテクタアレイが16列ある。ここでは4列の検出器を5mm幅の一つの出力チャンネルとして使用した。すなわち1スライス当たりの幅は5mmとなる。管球1回転当たりの検出範囲は1.25mm×16列=20mmである。管球1回転当たりのテーブル移動距離を一つの出力チャンネルが受け持つ素子の構成単位で割った値helical pitch¹¹⁾は6を使用した。すなわち寝台移動速度は30mm/回転となる。スキャン時間は腹部全体を45cmとすると、450mm(腹部全長)+30mm/回転(寝台移動距離/管球1回転)×0.8sec(管球1回転)=12secとなる。再構成画像間隔は1mmとし450mm当たり450枚の二次元横断像を作成した。

1-3 撮影方法

当院では医師がルーチンに経肛門的に腹満を訴える

まで送気するため、ポリウムデータをそのまま3D-CTに利用できた。なお、転移検索などのための造影剤としてスキャン開始70秒前に非イオン性造影剤100mlを1.5ml/secで静注した¹⁻⁷⁾。3D-CTは二次元横断像の画像データをAdvantage Workstationに転送し、ポリウムレンダリングおよびサーフェスレンダリング法によって作成した。前処置は基本的にはポリエチレングリコール(PEG)溶液による経口腸管洗浄法であるが、直腸を目的とした場合特に処置は行わない。蠕動を抑制するために鎮痙剤の筋注を行う場合もある。

2. 結果

消化管の3D-CTは体内に存在する空気と臓器実質との間に生ずる大きなCT値の開きを利用する。消化管3D-CT画像には、CT値の閾値と不透明度(opacity)の設定方法により、virtual endoscopy法(以下、VE), air image法, 3D-CT二重造影法(double-contrast CT colonography: 以下、DCCT), multiplanar reconstruction (以下、MPR¹²⁾)と3D-CT画像の合成表示を行ったもの(以下、3D-MPR-CT)等の方法がある。

VEはいわゆる仮想内視鏡とも呼ばれ、管腔内腔の形状把握に適応できる。Fig.1に示す下行結腸のVEのように、空気部分以外のCT値を抽出し、空気部分のCT値の範囲は完全に透明(opacity 0%)とする。多くの胃や大腸の内視鏡画像との比較により、-700以上のCT値の抽出が最も粘膜面表示に近いことが判明している。内視鏡画像近似のVE画像を作成するときは、近位の物体が大きく、遠位の物体が小さく表示される透視投影法表示を行う。また、視野角度は15°~60°の範囲で選択できる。VEのコンピュータ支援システムとして最も際立つのがCT axial像, coronal像, sagittal像において指定した位置の内視鏡画像がリアルタイムに観察できることである。通常axial像において、管腔内の隆起、陥凹など管腔辺縁の形状異常を疑った場合その病変近傍にカーソルを置くことにより瞬時に管腔内壁の様子が確認できる。Fig.2a~dに回盲部の潰瘍限局型大腸癌のaxial像, coronal像, sagittal像およびその指定位置におけるVEを示す。axial像, coronal像, sagittal像の画像上で指定した×印が視点を示し×印から伸びる棒が視野方向を示す。ただし、三次元空間における視野であるので、正確な視点、視野方向を得るにはaxial像のみでなく、coronal像, sagittal像でも指定する必要がある。本症例は回盲部に狭窄を伴った症例で、Fig.2dのVEは内視鏡では越えられない狭窄をくぐり抜け、狭窄部を観察した画像で、内視鏡における観察では得られない像である。また、同一視点において180°視野を反転させて観察したVEも瞬時に表示可能である。Fig.2eは横行結腸を口側から肛門側に向か

Fig. 1 Virtual endoscopy image of descending colon inflated with air.

Fig. 2 Navigator program for colonic virtual endoscopy. We could obtain the various angles of virtual endoscopy images on a real-time basis; view angles were decided on the basis of the MPR images (a-c). Virtual endoscopy was able to pass through a narrowed lumen (d), something the videoendoscope was unable to do. This image shows carcinoma from the oral side. A virtual endoscopy image in the transverse colon obtained by reversal (e).

って観察した画像である。

Fig.3は大腸全体をair image法で表示したものである。空気の部分の-700以下のCT値を抽出し、粘膜、臓器部分のopacityを0%とし管腔内の空気像を表示した。

管腔粘膜のCT値と空気のCT値には大きな開きがあり、粘膜と空気の間の中間のCT値が存在する。DCCTは中間のCT値(-700周辺)を抽出しray sumで半透明にて表示した、X線二重造影法に近似した画像を構築する方

法である。Fig.4は回盲部のDCCTであるが、Fig.5の注腸と比較すると解像力の点で若干劣るが、病変部および虫垂も描出され十分臨床に使用できる。この画像のメリットは、バリウムを使用することなくさまざまな方向からの注腸近似像が得られることである。通常、X線撮影の場合直腸は4~5方向の撮影を行うが、本法では1回のスキャンで済ませることができる。

ポリウムデータを用いて任意の方向の二次元断面

Fig. 3 An image visualized by the air image method looks like a single-contrast barium enema image.

Fig. 5 Barium enema study shows carcinoma in the cecum with annular stenosis referred to as an apple-core lesion.

Fig. 4 This picture obtained by the double-contrast CT (DCCT) method is similar to that of a double-contrast barium enema image.

Fig. 6 A 3D-MPR-CT image, constructed with both 3D and MPR images, shows extracolonic invasion of the retroperitoneum. This method makes it possible to observe both intraluminal and extraluminal findings at the same time.

像を作成することがMPRであるが、このMPRと3D-CT画像の合成表示を行ったものが3D-MPR-CTである⁴⁾。Fig.6に回盲部腫瘍の3D-MPR-CTを示す。この像はaxial像に近い面を表示したoblique面の3D-MPR-CTであるが大腸管腔内の様子とともに癌の浸潤の状態を知ることができる。このほか、coronal面、sagittal面など、さまざまな面の浸潤の程度が管腔内壁と同時に知ることができ、手術範囲の決定に役立つ。

3. 考 察

3D-CT-colonographyにおいてコンピュータ支援の恩恵を受けるのは、Fig.2に示した二次元CT面で指定した任意の位置でのリアルタイムVE表示である。内視鏡検査では確認できない狭窄部より深部や、検査上内視鏡挿入困難な被検者、内視鏡検査を拒否する被検者に特に有効である。また、このVEの観察では管腔挿入支援システムによって半自動的に視点の大腸への挿入が可能である。これは管腔内表示画像の中で最も暗い点を探しその方向に向かって自動進行させていくというものである。ただし、管腔内表示画像上に複数の暗い点が存在する場合は、それらの平均点が進行方向となる。進行距離は数値入力により設定が可能である。例えば肛門部からVEによる挿入を始め回盲部まで進行する場合、マウスのクリックのみである程度自動的に管腔内を進むことができる。ただし、S状結腸や、脾彎曲、肝彎曲のような急な進路の変更はFig.2a～cのMPR表示画面において、手動操作でaxial, coronal, sagittal面における視野の指定を行う必要がある場合がある。この方法によって従来長時間費やして行っていた大腸全体の視点の移動が容易となった。通常のVEではhaustraと呼ばれるヒダによって死角が生じ病変を見落とすという欠点がある。これは内視鏡検査においても生じる欠点であるが、VEでは内視鏡検査ではできない有効な解決方法が考えられる。これはFig.2eに示したturn roundの手法である。これはある視点における視野を180°反転し表示する方法、すなわち振り返り観察である。肛門部から回盲部まで進めた視点の軌跡を視野を180°反転させながら回盲部から肛門部まで戻ってくる方法をとることにより、口側から肛門側へ進行する内視鏡画像が得られる。この手法を利用することにより、視点の軌跡を再度計算することなく通常の内視鏡では得られない肛門方向への連続した画像が得られる。

マンモグラフィや胸部X線画像等のCADによる第一の目的はスクリーニングで病変の見落としを減少させることである。VEによる管腔内病変の検索もスクリーニングの一つとして研究を進める必要があるが、糞便や残渣との鑑別が付きにくい欠点を有し、false

positiveの増加が懸念される。その欠点をさけるため私見としてスクリーニング法に最も有望視しているのは3D-MPR-CTである。これはFig.6に示すような管腔面に対して垂直な面のMPR像の表示とともに管腔内はVEを表示する方法である。この手法を用いることにより糞便や残渣との鑑別を容易にし、また、病変が検出された場合、病変の浸潤の度合いも同時に知ることができる。現在の課題は、大腸管腔に垂直な面の3D-MPR-CTの表示方法のもと肛門側から口側への往復ナビゲーションの開発である。次世代の大腸のCADの開発目標は、管腔から突出する隆起成分を二次元CT面で抽出し、それを3D-MPR-CT上に表示し観察者に読影上の注意を喚起することである。ただし、隆起成分の中に空気を含んでいるものや、水様性残渣によって水平面を形成しているものは便として排除する必要がある。

air image法およびDCCTは管腔外から観察する手法であるが、従来の注腸撮影で必要とされていた多方向撮影が1回の撮影でデジタルデータの保存により異なる視野、異なる条件で画像が構築できる。ただし、この方法では注腸同様に腸と腸との重なりを生ずるために、精密検査としての適用はあるが、スクリーニング検査には適していない。

米国では10mm以下のポリープ(腺腫)が浸潤癌になるのに10年かかると考えられているため、直径10mm程度のポリープを検出できれば良いとされており、この3D-CT-colonographyで対応できると考えている。撮影条件は被曝低減を重視し、あまり薄いスライス幅を採用せず5mm幅とした。当院では直径4～5mmの隆起性病変なら検出できる結果を得ているため⁶⁾、今後、大腸の検査法の一つとして確立されていくであろうと考える。

4. 結 語

コンピュータ支援による3D-CT-colonographyは、空気を管腔内の造影剤とした低侵襲の大腸検査を可能とした。仮想内視鏡近似画像(VE法)や、管腔内の空気像を示しバリウム充満像に近似させた方法(air image法)、X線二重造影像に近似させた方法など、しきい値や透明度の設定により、1回のスキャンによりさまざまな表示が可能である。また、これらの表示方法に加え、消化管管腔内表示とともに任意消化管断面のCT画像を表示する3D-CT画像とMPRの合成表示も可能である。しかし、現在の手法では視点を半自動的に大腸管腔内部をナビゲートするのみであり、視野に病変像が入ってきてもコンピュータは病変として認識せずそのまま通過してしまう。放射線画像の解析および定量化を自動的に行い病変を検出するという本格的な

CADを適用するには、axial像またはMPR像の二次元CT面での解析が必要であると考え、現在のVE、3D-MPR-CT法による病変検索では読影に多大な時間を要するため、病変検出支援まで含めたCADの開発を進める必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、技術的援助をいただいた、GE横河メディカルシステムの方々に御礼申し上げます。また、ヘリカルスキャンデータの利用に対しご協力いただいた、当院内科 丸山雅一氏、放射線部 立川智弘氏、根岸礼子氏に感謝します。

参考文献

- 1) Ogura T, Koizumi K, Kai S, et al.: Three-dimensional CT colonoscopy, comparison with colonoscopy and barium enema examination. *Radiology*, 197, 444, (1995).
- 2) 小倉敏裕, 小泉浩一, 甲斐俊吉, 他: ヘリカルスキャンCTを利用した直腸癌の三次元表示. *日本消化器内視鏡学会雑誌*, 37, 1148-1156, (1995).
- 3) Ogura T, Koizumi K, and Maruyama M: 3D-CT colonoscopy of colorectal carcinoma. *Proc of International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, 338-343, (1995).
- 4) 小倉敏裕, 丸山雅一: 三次元CTとMPRの合成による胃腫瘍の画像表示. *Medical Imaging Technology*, 16, 125-130, (1988).
- 5) 小倉敏裕, 小泉浩一, 丸山雅一, 他: CTによる消化器癌の診断—現状と将来への期待—. *画像診断*, 17, 1165-1173, (1997).
- 6) 小倉敏裕, 小泉浩一, 酒井達也, 他: 消化管病変の三次元画像診断—現状と展望 ヘリカルスキャンCTによる大腸三次元構築—. *胃と腸*, 33, 187-196, (1998).
- 7) 小倉敏裕: 消化管3D-CT. *医用画像情報学会雑誌*, 16(3), 147-158, (1999).
- 8) Vining DJ: 3-D spiral CT of bowel yields virtual colonoscopy. *Diagnostic Imag*, 13-15, (1994).
- 9) Hara AK, Johnson CD, Reed JE, et al.: Colorectal polyp detection using computed tomographic colonography: two-versus three-dimensional techniques. *Radiology*, 200, 49-54, (1996).
- 10) 土井邦雄, 桂川茂彦, Giger ML: デジタルラジオグラフィにおけるコンピュータ支援診断の可能性. *日放技学誌*, 45(5), 653-663, (1989).
- 11) 林 宏光, 高木 亮, 市川太郎, 他: らせん走査型CTの新しい技術—Multidetector-row(多列検出器型)CTを理解するために—. *日獨医報*, 44(2), 84-95, (1999).
- 12) 永井 純, 安達秀雄: 三次元CT血管造影法—血管疾患の新しい診断法—. pp.3-77, *メディカルサイエンスインターナショナル*, 東京, (1994).

図表の説明

- Fig. 1 空気を充満させることによって作成した下行結腸の仮想内視鏡像。
- Fig. 2 大腸の仮想内視鏡ナビゲートプログラム。MPR画像上で視野を決定することによりさまざまな視野の仮想内視鏡画像がリアルタイムに得られる(a~c)。内視鏡では不可能であるが、仮想内視鏡は狭窄部を越えることができる。このイメージは狭窄の反対側から癌病変を観察したものである(d)。横行結腸において視野を反転させて表示した仮想内視鏡画像(e)。
- Fig. 3 バリウム充満像に近似表示したエアイメージ法。
- Fig. 4 注腸近似表示を行ったDCCT法による画像。
- Fig. 5 アップルコアといわれる輪状狭窄を有する回盲部の大腸癌を示す注腸像。
- Fig. 6 三次元画像とMPRを合成表示した3D-MPR-CT画像。この画像では腹膜の浸潤を示す。本法は管腔内腔への浸潤と外側への浸潤を同時に観察が可能である。