バーチャル膵管鏡イメージの膵区域切除手術計画への応用と その画像処理における問題点

Virtual Pancreatotomy for Surgical Planning of Segmental Resection of the Pancreas and Problems with Visualization of Virtual Pancreatotomy

中郡聡夫（正会員）^a，浅野武秀^a，剣持 敬^a，所 義治^a，長谷川正行^a，神宮和彦^a，
宮内英聡^a，落合武徳^a，奥田茂男^b，貝沼 修^b，Ron Kikinis^b，Ferenc A. Jolesz^b

^a 千葉大学医学部第二外科

^b ハーバード大学ブリガムアンドウーマン病院放射線科

Toshio Nakagohria^a，Takehide Asano^a，Takashi Kenmochi^a，Yoshiharu Tokoro^a，
Masayuki Hasegawa^a，Kazuyuki Jingu^a，Hideaki Miyauchi^a，Takenori Ochiai^a，
Shigeo Okuda^b，Osamu Kainuma^b，Ron Kikinis^b，Ferenc A. Jolesz^b

^a 2nd Department of Surgery, Chiba University School of Medicine

^b Department of Radiology, Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School

Abstract

We have used computer-based virtual endoscopic techniques as a novel approach to clarify the 3D surgical anatomy of the pancreas and improve preoperative surgical planning. 13 cases with mucin-producing pancreas tumors were investigated by virtual pancreatotomy. All cystic tumors and the main pancreatic ducts were displayed by virtual endoscopy. The surfaces of the intraductal papillary adenocarcinoma were illustrated more irregularly than were benign adenomas. Virtual pancreatotomy was useful for surgical planning of minimally invasive resection of the pancreas.

However, there were some technical problems with virtual endoscopic images. Cystic lesions next to the main pancreatic duct were displayed together with the main pancreatic duct, because thin septa between cystic lesion and the main pancreatic duct could not be generated. A septum was illustrated like pillars in some cases. Fly-path image did not always fly through the main pancreatic duct.

Key words

Virtual endoscopy, Virtual pancreatotomy, Pancreas, Surgical planning .

1. はじめに

バーチャル内視鏡は，MRIやCTデータをもとにコンピュータ画像処理によって内視鏡シミュレーション画像を作成する最先端のテクノロジーである¹⁾⁷⁾。

そして，実際の内視鏡が到達できない人体深部の観察ができるだけでなく，実際の内視鏡に比較して快適で時間もかからないという利点も持っている。

しかし，これまでバーチャル内視鏡の臨床応用は気管，副鼻腔，食道，胃，小腸，大腸等の臓器に限られていて，膵臓・膵管の研究は無かった．そこで今回われわれは，粘液産生膵腫瘍に対しMRIデータを基にしたバーチャル膵管鏡イメージを作成し，膵区域切除の手術計画への応用とその画像処理における種々の問題点につき検討した。

千葉大学医学部 第二外科

〒260-8670 千葉市中央区亥鼻 1-8-1

Fig. 1 Virtual endoscopic images and 3D image.

2. 対象と方法

対象は千葉大学第二外科で膵切除を受けた粘液産生膵腫瘍（膵管内乳頭腫瘍）13例である。MRIはGE社製 SIGNA1.5 Horizon を用い、パルスシーケンス（Pulse sequence）は single shot fast spin echo（SSFSE）

法で、Coronal面でスライス厚2.0～3.0 mmで撮像した。この2DのMRIデータを基にサンマイクロシステム社製ワークステーション上でバーチャル内視鏡・三次元画像処理ソフト（Virtual Endoscopy Software Application, VESA）を用いて、自動セグメンテーション（Automated segmentation）とサーフィスレンダリ

Fig. 2 Intraductal papillary adenocarcinoma.

Fig. 3 Intraductal papillary adenocarcinoma.

ング法によりバーチャル内視鏡イメージを作成した。膵内の観察イメージ (Path) の作成には自動パス作成法 (Automated Path Planning Technique) を用いた。

VESAでは内視鏡イメージの他に、膵管外から観察した三次元画像イメージの作成も可能で、さらに三次元イメージと2DのMRI画像そして内視鏡イメージを同時にモニタ表示することも可能である⁸⁾⁹⁾。

今回は特にバーチャル内視鏡イメージ作成における画像処理上の種々の問題点につき検討した。

3. 結果

バーチャル膵管鏡により主膵管内と嚢胞性病変内腔の観察が可能であった。バーチャル膵管鏡により膵管内を膵頭側から尾側まで自由に観察可能で、さらに膵管内から嚢胞内へと観察することもできた (Fig. 1)。

主膵管は13例全例において拡張していたので、全例で主膵管内のバーチャル膵管鏡イメージによる観察が可能であった。

MRIのスライス厚 (2～3 mm) 以下の主膵管は画像化が困難であり、副膵管は拡張していない症例が多かったために描出されないことが多かった。

嚢胞性病変のバーチャル内視鏡イメージによる観察も全症例において可能であった。4例の膵管内乳頭腺癌症例では全例で嚢胞壁が粗造に描出されたのに対し (Fig. 2, 3), 良性の膵管内乳頭腺腫では病変の表面が平滑に描出される傾向であった (Fig. 4, 5)。

Fig. 4 Intraductal papillary adenoma: The surface of the cystic lesion was smooth.

4. 考察

今回のVESAによるバーチャル内視鏡では、主膵管内と嚢胞性病変内を実際に内視鏡で観察しているかのようなインタラクティブなシミュレーション画像を作成することが可能であった。実際膵臓全体に渡って主膵管内を自由に観察することができ、さらに病変内をも観察することができた。当然、バーチャル内視鏡では主膵管と病変の連続性も直接確認することが可能であった。VESAによるバーチャル内視鏡は画質についても申し分ないレベルであり、十分に臨床応用可能と思われた。

また、VESAで同時に作成した三次元立体胆管膵管像と照らしあわせると、病変の膵内における立体的存在部位が一目でわかり、膵区域切除における手術計画に有用と思われた。特に近年盛んに行なわれている膵頭部分切除の手術計画において、3D胆管膵管像とバーチャル膵管鏡イメージは胆管温存の有無や膵切除ラインの決定等に役立つ情報を提供するものと期待される¹⁰⁾。

一般に粘液産生膵腫瘍の確定診断は内視鏡的逆行性膵管造影 (Endoscopic Retrograde Pancreatography, ERP) によって行なわれる。しかしERPでは、腫瘍から多量に産生された粘液のために主膵管内および嚢胞性病変が描出されない頻度も高い。教室例においても膵管内乳頭腫瘍 (分枝型) のERPによる造影率は約50%と低かった。これに対し、今回用いたMRI

Fig. 5 Intraductal papillary adenoma: The surface of the cystic lesion was also smooth.

Fig. 6 A cystic lesion next to the pancreatic duct was generated together with the pancreatic duct.

Fig. 7 The main pancreatic duct and a cystic lesion: The septum between the main pancreatic duct and cyst was displayed as pillars.

の撮像条件では嚢胞性病変がすべて描出され、腫瘍の存在診断において有用であった。したがって、このMRIデータに基づいたバーチャル内視鏡イメージは粘液産生膵腫瘍の描出に優れていた。

また、バーチャル内視鏡による嚢胞性病変の表面性状の観察から病変の悪性・良性を評価できる可能性が示唆された。膵管内乳頭腺腫では表面粗造に描出されるのに対し、良性の膵管内乳頭腺腫では表面が平滑に描出される傾向が認められた。従来の診断法では粘液産生膵腫瘍の良性、悪性の術前診断は困難であったので、大変期待される機能である。バーチャル内視鏡による良性悪性の鑑別診断機能については、さらに症例を増やして検討する必要があると思われる。

5. バーチャル内視鏡の画像処理上の問題点と対策

今回のVESAによってバーチャル膵管鏡イメージを画像構成するにあたっていくつかの画像処理技術上の問題点が認められた。そこで、問題点を以下に整理して述べるとともに、対策について考察した。

嚢胞性腫瘍と主膵管が接している場合はバーチャル膵管鏡では嚢胞壁が描出されず、嚢胞と膵管が同一の洞窟状に描出された(Fig. 6)。場合によっては主膵管と嚢胞壁との間の隔壁が列柱状に描出される症例もあった(Fig. 7)。嚢胞性病変と主膵管が膵実質を

介さずに直接接すると、嚢胞と主膵管との隔壁は大変薄くなりMRI上わずかな信号しかないので、描出されないか飛び飛びに描出されることになるものと思われる。現在のところこの問題に対する有効な解決法は見当たらない。

主膵管内のバーチャル膵管鏡イメージではFly-Pathが必ずしも主膵管を通らないで主膵管内から嚢胞内を横切りながら進む場合もあった(Fig. 8, 9)。Automated path planning法ではpathの出発点と終了点は指定できるが、途中の通過点を指定することができないため膵管内でなく嚢胞内を通過することがある。そこで煩雑ではあるが、pathを短く区切って指定すれば、必ず膵管内を走らせることは可能である。

また、MRIデータからsegmentationを行なう時に適切な閾値を設定するのが困難な症例があり、バーチャル膵管鏡の画像化に非常に長時間を要する場合があった。この問題はバーチャル内視鏡の問題というよりはむしろMRIの問題であり、シャープなMRI画像が得られた場合はほとんど問題にならなかった。

拡張していない主膵管は画像化が困難であり、拡張の軽度な副膵管も描出されないことが多かった。したがって副膵管と腫瘍との立体関係が検討できない症例が多かった。

同様に通常の膵癌による膵管拡張は描出が可能であるが、膵癌そのものによる膵管狭窄の描出は現在のMRIの空間分解能の限界のため困難と思われた。

Fig. 9 Arrow showed a fly-path which went through cystic lesions.

Fig. 8 Arrow showed a fly-path along the main pancreatic duct.

現在膵癌患者の半数以上が診断時に切除できないほど進行している現状から、実際に早期診断の必要性がより高いのは膵癌である。そこでバーチャル内視鏡の膵癌への応用をさらに検討したいと考えている。

今後はさらに、肝臓、胆嚢、胆管、血管内などにもバーチャル内視鏡を応用し、腹部内臓の診断と手術計画に役立つ検査法としてさらに発展させたいと考えている。

文 献

- 1) Jolesz FA, Lorensen WE, Shinmoto H, Atsumi H, Nakajima S, Kavanaugh P, Saiviroonporn P, Seltzer SE, Silverman SG, Phillips M, Kikinis R. Interactive Virtual Endoscopy. *AJR* 1997; 169: 1229-1235.
- 2) Ecke U, Klimek L, Muller W, Ziegler R, Mann W. Virtual reality: preparation and execution of sinus surgery. *Compt Aid Surg* 1998; 3: 45-50.
- 3) Gilani S, Norbash AM, Ringl H, Rubin GD, Napel S, Terris DJ. Virtual endoscopy of the paranasal sinus using perspective volume rendered helical sinus computerized tomography. *Laryngoscope* 1997; 107: 25-29.
- 4) Lorensen WE, Jolesz FA, Kikinis R. The exploration of cross-sectional data with a virtual endoscope. In: Satava RM,

Morgan K, Sieburg HB et al. Interactive technology and the new paradigm for health-care: medicine meets virtual reality III proceedings. 1995; Amsterdam, Holland: IOS Press; 221-230. computed tomography. *Laryngoscope* 1997; 107: 25-29.

- 5) Summers RM. Navigational aids for real-time virtual bronchoscopy. *AJR* 1997; 168: 1165-1170.
- 6) Rogalla P, Werner-Rustner M, Huitema A, van Est A, Meiri N, Hamm B. Virtual endoscopy of the small bowel: phantom study and preliminary clinical results. *European Radiology* 1998; 8: 563-567.
- 7) Springer P, Dessel A, Giacomuzzi SM, Buchberger W, Stoger A, Oberwalder M, Jaschke W. Virtual computed tomography gastroscopy. *Endoscopy* 1997; 29: 632-634.
- 8) Kikinis R, Gleason PL, Moriarty TM, Moore MR, Alexander E, Stiege PE, Matsumae M, Lorensen WE, Cline HE, Black PM, Jolesz FA. Computer Assisted Interactive Three-Dimensional Planning for Neurosurgical Procedures. *Neurosurgery* 1996; 38: 640-651.
- 9) Lee H. Three-dimensional imaging of the stomach by spiral CT. *Comput Assist Tomogr* 1998; 22: 52-58.
- 10) Nakagohri T, Asano T, Takayama W, Uematsu T, Hasegawa M, Miyauchi H, Maruyama M, Iwashita C, Isono K. Resection of the Inferior Head of the Pancreas: Report of a case. *Surgery Today* 1996; 26: 640-644.