

総説

IVRにおけるフラットパネル搭載C-armCT
：DynaCTで可能となる新たな展開

橋本 東児、清野 哲孝、本田 実、橋爪 崇、新城 秀典、扇谷 芳光、後閑 武彦

昭和大学 放射線医学教室

Flat Detector C-armCT for Interventional Radiology
：New Development with DynaCTToshi Hashimoto, MD., Noritaka Seino, MD., Minoru Honda, MD., Takashi Hashizume, MD.,
Hidenori Shinjo, MD., Oogiya Yoshimitsu, MD., Gokan Takehiko, MD.

Department of Radiology, Showa University School of Medicine

抄録

フラットパネル検出器を搭載したCアームを200度回転して得られるコーンビームCTをC-armCTとする。C-armCTで得られるデータは、軟部組織濃度の分解能を有し、完全な等方向ボクセルの精細な解像度を持つ。インターベンショナルラジオロジーの手技中に、患者移動なくCT様のボリュームデータを得られる意義は大きい。DynaCTはシーメンスのAXIOM Artisシリーズで提供されるC-armCTであるが、ソフトとハードの統合が得られたシステムである。DynaCTはIVR手技を支援する新たなモダリティとも考えられる。現時点のDynaCTの位置付けと今後の展開を実際の症例を供覧しつつ述べる。

Summary

In this paper, C-armCT means cone beam CT imaging by rotating flat panel detector on angiographic C-arm with 200 degrees. C-armCT offers volume data with soft tissue contrast resolution and have high spacial resolution with true isotropic voxel. Interventional Radiologist can get the major advantage of immediate CT like volume data without any patient's reposition. DynaCT is a kind of C-armCT system including integrated software and hardware on AXIOM Artis from Siemens medical solution company. So, the system of DynaCT is considered as a new imaging modality supporting interventional procedures. We will show how to use DynaCT in clinical cases and discuss the present status and potential application.

Key words: cone beam CT, angiography, interventional radiology, biopsy

はじめに

フラットパネル検出器(以下FD)を搭載した血管造影装置では、Cアームを半回転するだけで軟部組織の濃度分解能を持つCT様データが得られるようになって

ている。これは、連続撮影速度の高速化に加え、散乱線除去・アーチファクト低減をはじめとする様々な補正処理により実現されている。得られる画像は一般のCT装置に及ばない点が多いが、ワークステーション(以下

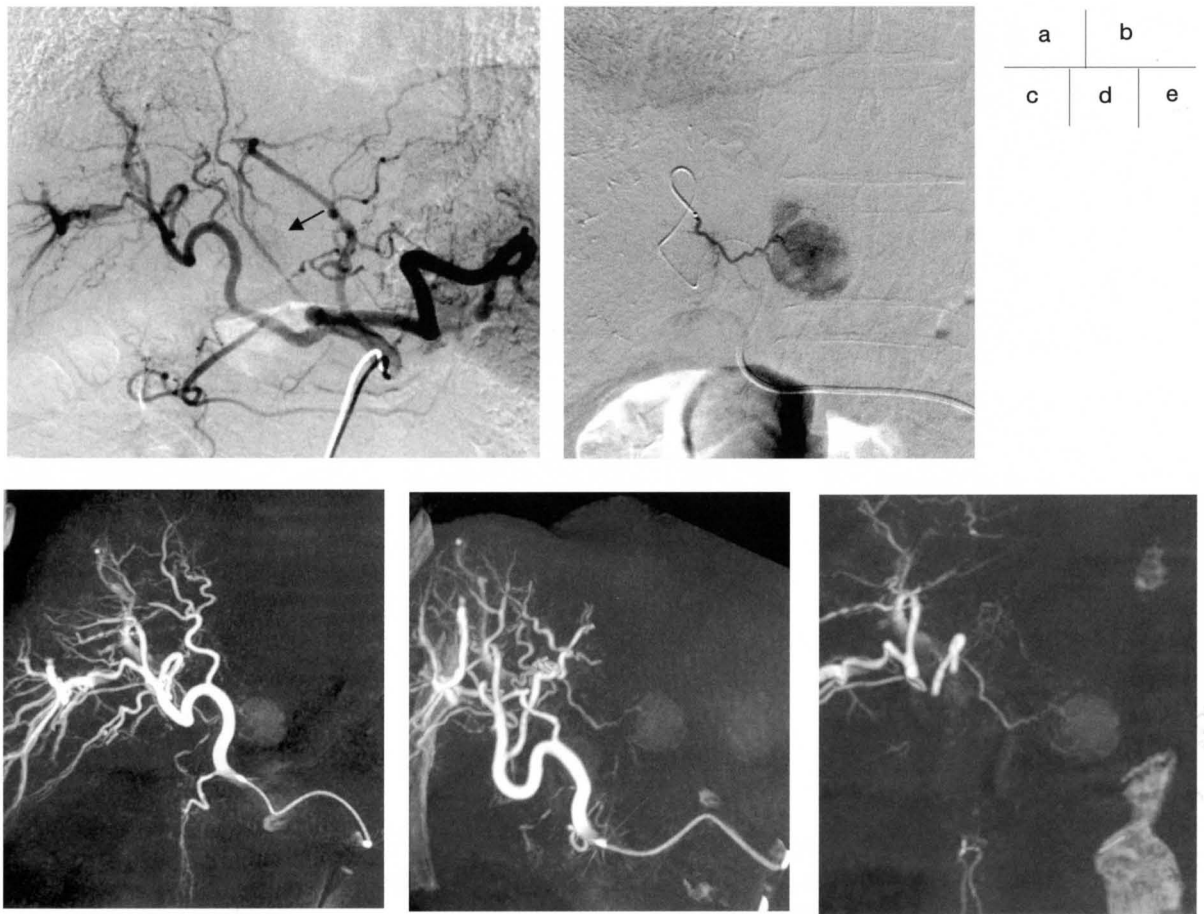


図1. 肝癌(尾状葉)

a. 腹腔動脈のDSA、b: 尾状葉枝の選択造影、c. 総肝動脈造影によるC-armCT冠状断正面像(厚いスラブMIP)、d. 斜位で尾側への回転した厚いスラブMIP表示、e. dと同じ角度の薄いスラブによるMIP表示
回転にスラブ厚を変えスクロールすることで、み難かった栄養血管を簡単に見ることができる。

WS)上の処理が同時に検査室内のモニタに表示される。インターベンショナルラジオロジー(以下IVR)の手技中に様々な利用が可能である。ここでは、FD搭載のC-アームを200°回転するコーンビームCTをC-armCTと略す。

シーメンス社AXIOM Artisで提供されるDynaCTは、C-armCTであるが、CT様データを取得するだけでなく、ソフトとハードの両面での統合が実現されている。様々な表示を可能にするWSとC-アームとの相互連動により、DynaCTはIVR手技を支援する新たなモダリティともいえる。我々の施設では、2005年3月末よりDynaCTが使用可能となり、胸腹部骨盤領域のIVRに積極的に利用している。本稿では、DynaCTの当院におけ

る利用状況を症例を供覧しつつ述べ、どのようなボリュームデータがIVRに求められるかを考えてみたい。

IVRに求められる画像情報

IVRに利用する画像情報で最も求められるのはリアルタイム性と三次元的情報であろう。時間分解能や簡便性はX線透視や超音波装置が最も優れ、三次元的情報の提供はMDC TやMRIが優れる。リアルタイム性がある程度高いCT透視やMRI透視は有用ではあるが、断面の操作性に制限がある。また、汎用されているX線透視や超音波装置と組み合わせるには、患者移動や操作スペースの制限が伴う。C-armCTにリアルタイム性は望めないが、透視や超音波ガイド下の手技中に

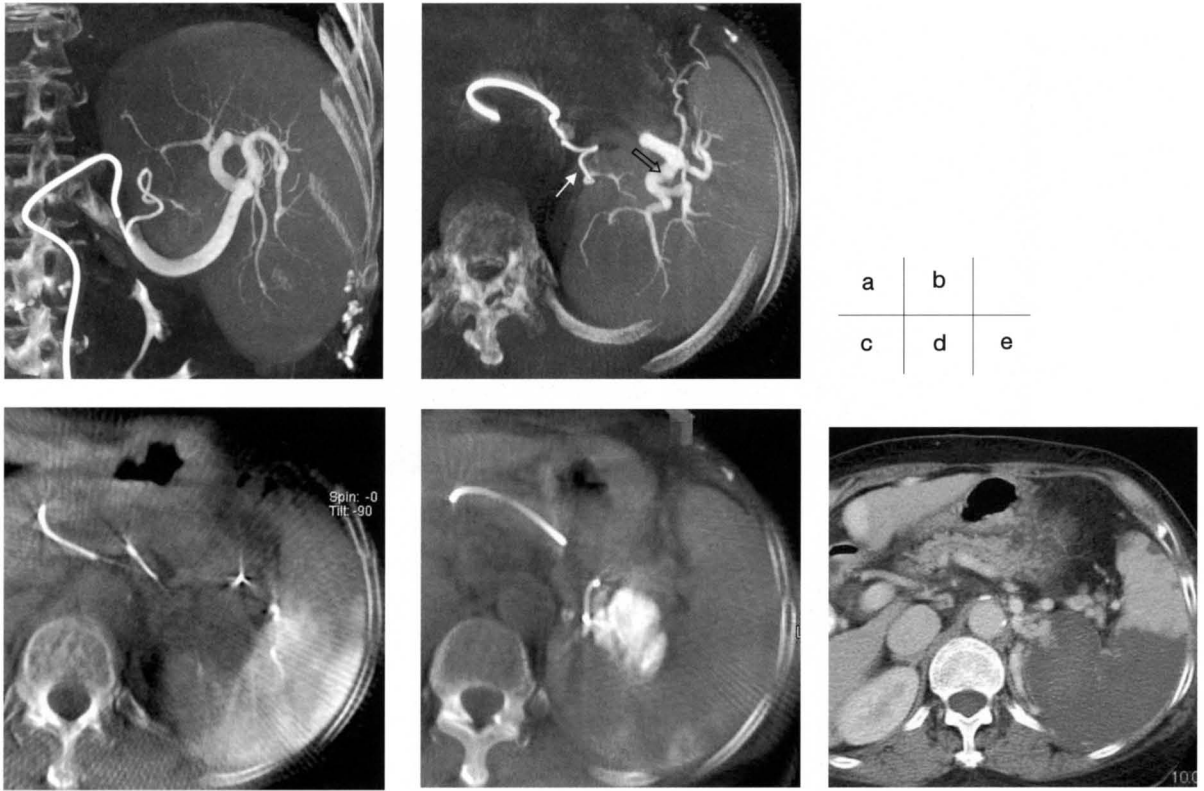


図2. 部分脾動脈塞栓術

- a. 脾動脈造影C-armCT像RAO(厚いスラブのMIP)、b. 図aを下面から見たMIP、
 c. 図bの中抜き矢印の分枝で選択造影したC-armCT軸位断像MPR。この領域の塞栓術では不十分なことが分かる。
 d. 図bの矢印の分枝で造影したC-armCT軸位断像MPR。図c, dの造影領域を塞栓した。
 e. 1週間後のCT。予定塞栓部位に一致した造影欠損が見られる。

CT様画像データが得られるメリットは高い。リアルタイム性の高い透視装置に3次元的情報を付加して活用できることは、現時点で理想的に近い組み合わせと考えられる。この場合、データの質、時間分解能と表示までの時間、表示機能、データと装置の統合性が求められる。データの質に関しては、血管系IVRでは3次元の血管樹、腫瘍や実質臓器の染まりが対象となるであろう。CTガイド下の手技では液体貯留や腫瘍などが、骨や実質臓器、血管などの正常構造物から区別して同定できる必要がある。三次元情報を多方向から観察する場合に画像劣化がないことも重要である。

C-armCTによるボリュームデータの質

1. 画像の精細さ、3次元の血管樹

もともと持っているデータは精細であるので、FOV

を小さく変更すれば最小0.14mmまでボクセルサイズを小さくすることができる。しかし腹部骨盤領域で栄養血管を同定する場合には、最大FOVの $256^3 \sim 512^3$ マトリックスで得られる0.42~0.83mmほどのピクセルサイズで問題を感じない(図1)。これは、完全な等方向ボクセルのデータにより、どの方向から観察しても画像劣化がなく、末梢部血管が連続性を保って描出されているためと考えられる。したがって、IVRのナビゲーションに適した特性を有していると言えよう。

C-armCTで得られる3次元の血管樹は、データ内の造影効果の時間的統一性が得られている。回転撮影時間内の造影剤分布の総和から画像が作成されるためと思われる。しかし、咳などの短時間の動きでもアーチファクトがデータ全体に影響する。

メタルなどのさらに高濃度の対象物においては、精細

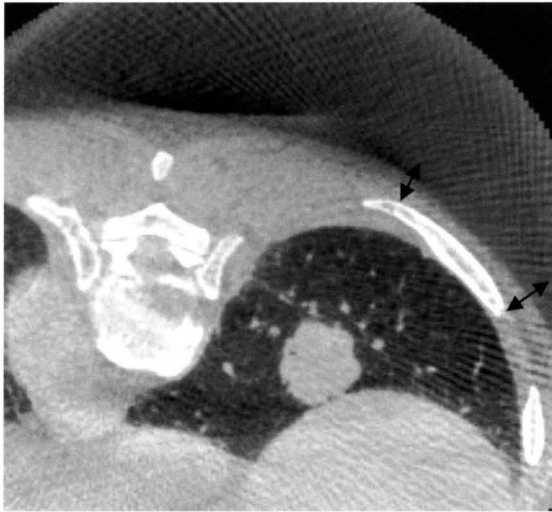


図3. 肺腫瘍に対するC-armCT下生検。

濡れたタオルを皮膚面に置かなかつたaでは、濡れたタオルをおいたbと比べ、皮膚表面の情報が消失し、矢印で分かるように皮下脂肪が薄く描出されている。

a | b

で完全な等方向のボクセルに加え、広いダイナミックレンジのため、ステントの網目構造まで表示可能である^{1,2,3)}。しかし、造影剤で満たされた血管を対象とする場合、その恩恵を実感することは少ないと思われる。

2. 濃染像、軟部組織濃度

血管造影下のC-armCTで腫瘍の染まりや注入された造影剤の分布を確認したい場合は多い。超選択的な造影では造影剤を薄くすれば、5秒回転の撮影でも腫瘍濃染、実質濃染の描出に不満はない(図1)。部分脾動脈塞栓術の領域決定にも役立つ(図2)。ただし、DynaCTに付随しているWSでは大きい物体の体積の測定ができない。

C-armCTAPで欠損を見る場合には、上腸間膜動脈で200mgI/mlの造影剤を注入している。多くの症例では欠損の診断が可能であるが、淡い軟部組織濃度を見る場合にアーチファクトが問題となってくる。本田らの検討では、40例の肝癌症例に対して4列MSCTで撮影された経静脈的dynamic CTとC-armCTAP、C-armCTHAを比較してみると、後者で描出された肝癌結節数が平均2.5個で、dynamic CTの1.8個よりも有意に多かった⁴⁾。造影剤の投与経路が異なる比較ではあるが、IVRに必要な程度の腫瘍濃染像や欠損像が同定できている可能性が高いと考えられる。

皮膚表面や、体格の大きい被検者の中心部で情報が

低下しやすい。管電圧を120Kv付近に上げたhigh modeの撮影である程度対処できる。皮膚表面の情報低下が強い場合は、皮下脂肪の表面が見えなくなることがある。生検やドレナージの際の計測時に障害となりうる。水を含んだタオルやガーゼを皮膚面に置くことでも改善できる(図3)。

コーンビームCTでは100-200HU程度の高濃度対象物を見る場合、プロジェクション数が40-150程度でアーチファクトは許容できる⁵⁾。プロジェクション数が多くなればバックグラウンドのアーチファクトが低下することにより、軟部組織の濃度分解能は向上する。DynaCTの5秒回転のプロジェクション数は130強である。軟部組織の濃度を区別したい場合には、10秒回転の撮影が望まれる。

3. 情報の範囲

C-armCTの撮影範囲はコーンビームの範囲内に限定される。DynaCTに搭載されているFDは30cm×38cmである。再構成される回転中心領域の有効視野(FOV)は、軸位断で約25×25cm、頭尾方向で約20cmである。上腹部では肝臓全体が入らない症例がある。頭尾方向はMDCTのテーブル移動によるZ軸方向の連続データ収集に及ばない。しかし、実際のIVRでは、目的とする部位が限定されていることがほとんどで、XY平面、Z軸方向ともにサイズの制限が問題となることはほとんど

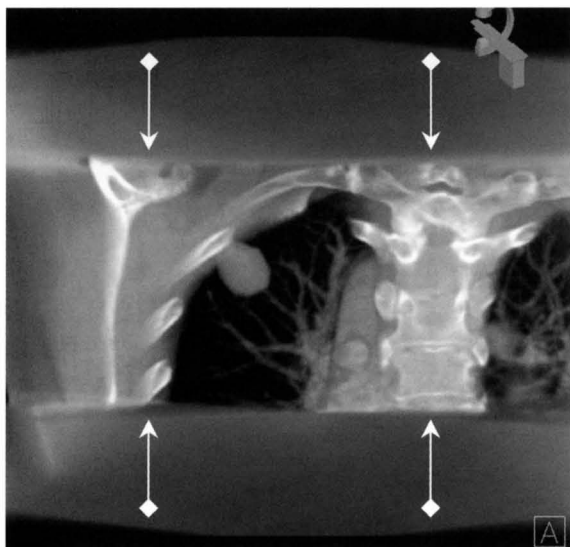


図4. 肺生検時のC-armCT thick slab VR正面像視野を絞る撮影はできるが、撮影範囲外も計算されるため、時間がかかる。被ばく低減にはなる。

どない。

被ばく低減のため、コリメーションを絞ることで一定範囲のみの撮影が可能である(図4)。しかし、現在のシステムではコーンビーム内のすべての情報を計算してしまうため、画像描画までの時間は短縮されない。CTガイドの手技では、5 cmほどの限られた範囲のみを繰

り返し撮影する必要がある。次期versionでは改善されるとのことである。待ち時間短縮と被ばく低減のため、撮影と計算される範囲は最小限であるべきである。

時間分解能と表示までの時間

1. 撮影時間と造影効果、造影タイミング

200度の回転撮影に5秒~20秒を要する。DSAでC-armCTを撮影する場合には、息止め時間はDRでC-armCTを撮る場合の2倍以上になる。腹部領域では呼吸以外に種々の動きが加わる為、DSAによる撮影はアーチファクトの多い画像となることが多い。我々は、動きが問題となる領域では、DRによるC-armCTを好んで用いている。

回転時間がかかるということは、個々のボクセルに対して、撮影時間中情報が収集され続けるということである。つまり、造影剤分布の総和から画像が作成されることになる。これにより、データ内の時間的統一感が得られる以外に、濃染する病変において、染まりのタイミングのずれを補う効果があると考えられる。

造影剤のタイミングと濃度、造影剤量は検討する必要がある。選択的動脈造影の撮影では、回転時間中造影し続ければよいので、造影剤の注入時間や撮影のタイミングに迷うことは少ない。仮性動脈瘤や造影剤の漏出に関しても描出が良好である(図5)。我々は腹部骨盤部では大動脈からの一次分枝、二次分枝で150~



図5. 腎外傷による仮性動脈瘤

a. 回転DSA、b. C-armCTのMIP像、回転DSA撮影のDA像からMIP像を作成した。

5秒回転であるが、回転DSAであるため息止め時間は10秒を超える。このためか、息止めが充分ではない。左腎盂が動きでぶれているのが分かる。

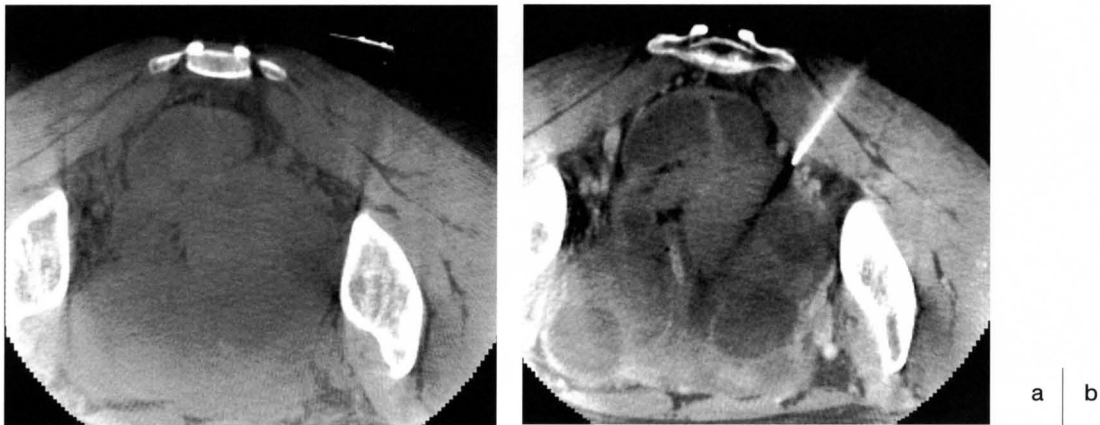


図6. 骨盤内囊胞性腫瘍

a. 経静脈的造影前C-armCT. b. 経静脈的造影後C-armCT

300mgI/ml造影剤、約90mlを3ml/sで肘静脈より投与。

囊胞性腫瘍の充実部分が造影され、穿刺すべき部位が明瞭となった。

200mgI/ml程度の造影剤を使っている。造影剤濃度が濃いとアーチファクトを引きやすい。

非血管系のIVRでは膿瘍や腫瘍の描出、ならびに避けるべき血管の評価に経静脈的造影剤投与が必要となる事がある(図6)。多くの経験はないが、上腕部の末梢静脈から3ml/s~5ml/secの造影で目的とする画像は得られている。通常のCTで行われる造影剤のテスト注入や自動検知機能による至適造影タイミングの設定が不可能である。したがって、撮影のタイミングは経験的にならざるをえない。また、DynaCTでは一旦撮影した後、次の撮影の再設定に時間がかかり、すぐにスタートできない。多時相のデータ収集で不満を感じる。

2. 表示までの時間

目的とする画像が表示されるまでの時間はデータ転送と画像構成時間にWS上での操作時間が加わる。血管系のIVRでは、次の準備や回転DA画像を見ながら、待ち時間の間にある程度の仕事をごこなせる。CTガイド下の手技では、最初の計画からボリュームデータが必要となるので、待ち時間が長く感じる。また、腹臥位で行う場合も多く、待ち時間が長いことは、被験者にとって大きな負担につながる。

画像転送と再構成時間はC-アーム回転時間と選ぶマトリックス数で異なる。頻用している256³の再構成5秒回転で3分弱。軟部組織の濃度差を必要とする場合の10秒回転では、256³で約4分20秒である。血管など高

濃度対象物だけの情報ならば、短時間での再構成が可能であるが、軟部組織の情報を含んだデータでなければ価値は低い。ハード面・ソフト面ともに開発が進んでほしいと思う。

しかし、一旦ボリュームデータが得られれば、様々な描画処理や表示ができ、表現の自由度は高い。三次元的な情報が本当に必要な症例では、WSで扱えるボリュームデータを数分で得られるという意味は大きい。むしろ問題なのは、データを扱うWS操作者との意思疎通である。表示を指示する側と扱う側の共通認識がないと、お互いにフラストレーションが貯まることになる。指示を受ける側に3D画像処理技術と同時に手技内容の理解が求められるものの、本当に必要な画像は口頭指示ではなかなか得られない。検査室内でWSを動かせるが、その操作性は良いとはいえない。

表示法

血管系IVRのナビゲーション画像として好まれる表示方向は、C-arm透視と同一角度からの観察であると思われる。ボリュームデータをC-armに合わせた冠状断表示にすれば、ガイドワイヤーやカテーテルを進める場合に感覚的につかみやすい。どの方向からの観察でも画像劣化のない完全な等方向ボクセルはここでも貢献している。表示法はVolume Rendering (VR) と Maximum Intensity Projection (MIP) で適宜見やすいものを利用している。VRは三次元的な表示法で血管の

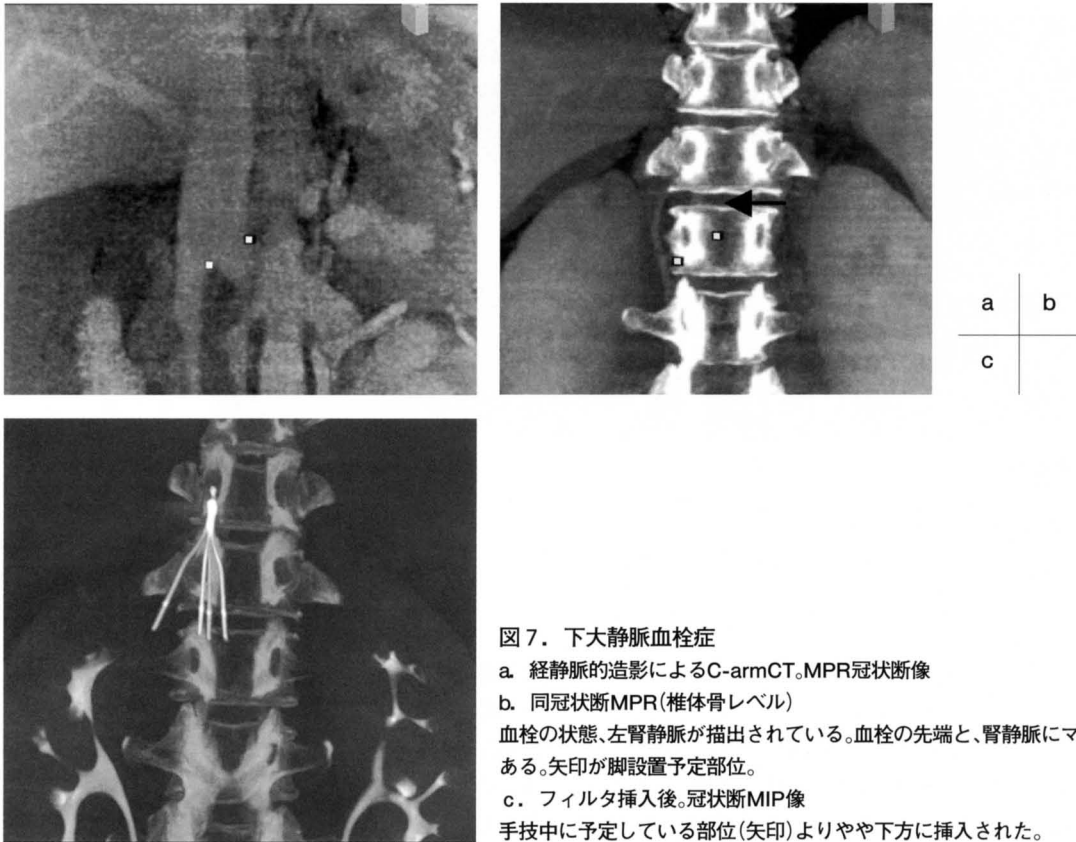


図7. 下大静脈血栓症

a. 経静脈的造影によるC-armCT.MPR冠状断像

b. 同冠状断MPR(椎体骨レベル)

血栓の状態、左腎静脈が描出されている。血栓の先端と、腎静脈にマーキングしてある。矢印が脚設置予定部位。

c. フィルタ挿入後。冠状断MIP像

手技中に予定している部位(矢印)よりやや下方に挿入された。

三次元的理解に必須であるが、シェーディング処理のため細かい血管情報が埋没する可能性がある。MIPは三次元的情報が含まれないが、回転動画表示やスラブ厚を調整した断面をスクロールすることで3次元的理解が深まる。

CTガイド下のIVRでは軸位断の画像から計測し、穿刺ラインの計画を行うことが主体となる。軸位断像の画像は、200度という回転の制限からアーチファクトが目立つ。補正処理の改善と、さらに高速な撮影によるプロジェクション数の増加が望まれる。針からのアーチファクトは微妙な動きで増強され、針先端部付近の情報が分からない場合がある。表示法やスラブ厚を変えることで、アーチファクトは軽減する。穿刺前の画像と比べれば、手技を遂行する上で問題となることはほとんどない。

ボリュームデータ操作と3Dインターベンション

DynaCTではWS上のデータとC-アームは相互に連

動している。WSのデータの角度をC-アームへ反映させることもできるし、C-アームを回転することでモニタ上のデータをリアルタイムに回転させられる。また、三次元座標系に点や線でマークすることができる。例えば、下大静脈フィルタを挿入する際に、腎静脈の位置や下大静脈内の血栓の位置を、椎体骨と比較し表示できる(図7)。皮膚面にマーカーを置くよりも正確であり、腎静脈の破格など静脈系がより適切に描出される可能性がある。

非血管系IVRの透視を主体とした手技でも、C-armCTの断面像で確認できる事は助けとなる事がある。さらにCTガイドの手技をC-armCTで行う場合には透視を併用する価値が高い。ボリュームデータで示した穿刺ラインに骨の情報を含ませて表示させれば、検査室内の透視画像で骨をマーカーとして使用できる。特にZ軸方向に角度をつけた場合の穿刺角度は側面透視の併用で簡単に再現できる。

三次元的角度の穿刺計画は、これまでのCT下の手技

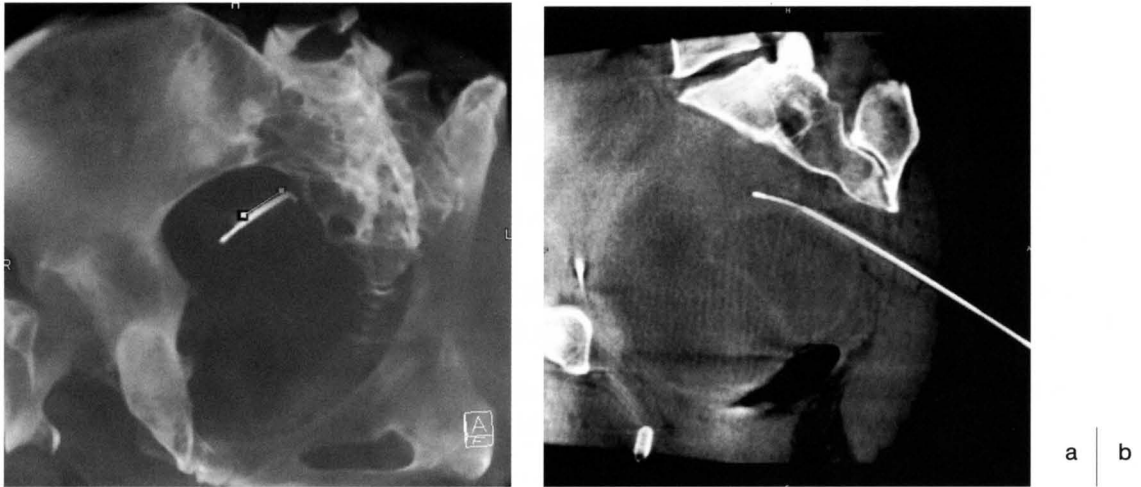


図8. 骨盤内腫瘍に対する穿刺。

嚢胞性成分があったため、3次元的に穿刺ラインを予定した

a. 穿刺時確認像。

予定ライン上に穿刺針があるのが分かる。ピンポイントに見える角度からややずらしてVRで表示している。

b. 穿刺針に合わせた断面。薄いスラブVR像。

薄いスラブのスクローリングにより、嚢胞部分を避け、充実部分に針先が当たっている確認ができる。

では困難であった。DynaCTでは、3次元的に予定した穿刺ラインの角度を、連動機能によりC-アームへ反映させれば、予定した穿刺角度が手元に再現できる(図8)。現状ではボリュームデータの表示や活用法は充分発達しているとはいえないが、将来的には、透視下の手技でも座標軸を指示する装備などハード面の工夫が望まれる。

結語

FD搭載の血管造影装置で得られるC-armCTは、ソフトとハードが統合されることでIVRを支援する装置として威力を発揮する。軟部組織濃度分解能や時間分解能に課題はあるものの、透視や超音波の手技と併用することで、血管系およびCTガイド下のIVRにおいて利用価値が高くなる。克服すべき点は多いが、現在でも臨床使用において魅力的な装置であると思われる。さらに、DynaCTで可能となる3次元情報の活用は、IVRの手技において新たな展開を期待させる。

参考文献

1. Gupta R, Bartling SH, Basu SK, et al: Experimental Flat-Panel High-Spatial resolution Volume CT of the temporal Bone. AJNR 25:1417-1424, 2004
2. 高野英行: インターベンショナル・ラジオロジーの新しい波. 新医療 4: 112-114, 2005
3. 橋本東児, ほか: インターベンショナルラジオロジーにおけるC-アームCTの有用性 日獨医報 51 (2); 87-98, 2006
4. 本田 実, ほか: Flat panel detector DSA装置によるcone beam CT (CBCT). IVR会誌 21, S94, 2006
5. Wiesent K, Barth K, Navab N, et al: Enhanced 3-D-Reconstruction algorithm for C-arm systems suitable for interventional procedures. IEEE Transactions on Medical Imaging 19: 391-403, 2000

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあっては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619