

図 24 受信専用センサの概略図と寸法

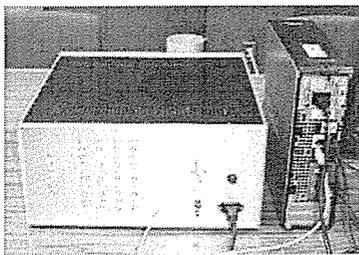


図 25 超音波位置センシング実験装置

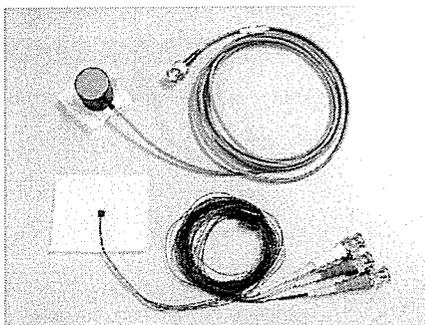


図 26 受信、送信センサ

[III] 手術ナビゲーション

手術ナビゲーションシステムの要素技術開発の結果に関し、(a)スイッチド・ファブリック技術を使用した StarFabric データ通信制御ソフトウェアの開発、(b)時間同期した複数の動画像を管理する術中画像管理装置の開発、(c)病変の輪郭抽出法の改良について記載する。

(a) StarFabric データ通信制御ソフトウェアの開発

以下の各機能の実装を行った。

● StarFabric 制御機能

ファブリックの初期化処理、コネクション作成処理、ホットプラグ制御のノード検出等の StarFabric 固有の処理機能を備えた。StarFabric に接続されるノードは、ファブリックの初期化やファブリック内で発生したイベントを検出するノード (Root) と、それ以外のノード (Leaf) に分類され、Root のノードが StarFabric のコネクションの作成やイベント検出を一括で行うこととした。本システムではナビゲーション装置が Root ノードとしての処理を行い、画像取込装置、位置検出装置及び画像処理装置が Leaf ノードとしての処理を行う。なお、各ノードがどの装置に対応しているかは、PC 内に実装する StarFabric ボードの GPIO 設定で判定するものとした。本ソフトウェアでは、制御用コネクションとデータ通信用コネクションの 2 種類を作成した。制御用コネクションは、ナビゲーション装置と画像取込装置、位置検出装置、画像処理装置が制御用データを通信するために使用するもので、各装置のノード情報とコネクション情報の通知に使用するものである。ソフトウェアに汎用性を持たせるため、ユーザアプリケーションからもコネクション作成が実施できるよう、本ソフトウェアにはコネクション作成に必要な API を実装した。

● メモリ管理機能

StarFabric で通信を行う際に必要となる物理メモリの確保、物理アドレスのユーザ空間へのマッピング等、通信する上で最低限必要なメモリ管理を行うための機能を備

えた。本機能は SgCmap ドライバに実装されているものであり、SgCmap ドライバとのインターフェースとして API を実装した。

- 通信制御機能

StarFabric の Write Message Event 機能を使用し、装置間で割り込みベースのメッセージ通信を行うための機能を備えた。本ソフトウェアにはメッセージの送信及び検出を行うための API を実装した。メッセージ送信は、画像データ等の書込み開始/終了通知や、エラー検出時の制御対象装置のノード削除の通知、コネクション削除の通知に使用される。

- エラー検出機能

StarFabric 上のエラーを検出し、エラー発生時にユーザアプリケーションに対して通知を行うための機能を備えた。また、各ノードの動作状態を定期的に監視し（ウォッチドッグ機能）、動作停止検出時にもユーザアプリケーションに対して通知を行うこととした。StarFabric 上のエラーは Root ノードでしか検出できないため、本エラーに関しては Root ノードであるナビゲーションコントロール装置にて検出を行った。ウォッチドッグについては全てのノードで検出することができる。

(b) 術中画像管理装置の開発

画像サーバとナビゲーションコントロール装置とで、動画・静止画・ナビゲーション設定情報をデータ送受信するためのインターフェースを構築した。また、DICOM サーバ、DICOMIF サーバ、ナビゲーションコントロール装置との連携機能を以下のように開発した。

<インターフェース>

ナビゲーション装置や DICOMIF サーバの DICOM 変換機能により発生した DICOM/非 DICOM 情報は、WebService とソケット通信でデータを送受信することとした。DICOM 情報はソケット通信でデータ送受信を行った。非 DICOM 情報は XML で保管されるものと、AVI や JPEG で保管されるものがあるが、前者は WebService で後者はソケット通信でデータ送受信を行うこととした。

<DICOM サーバ連携機能>

- DICOM 画像受信プログラム

DICOM 通信における SOP の役割を担うサービスを提供する。DICOM サーバからの画像自動受信に使用される。

- DICOM 変換プログラム

ビデオコンバータから出力される MotionJPEG 形式ファイルを DICOM 形式に変換するサービスを提供する。デフォルトでは 2 分周期で定期的に実行される。変換と同時に元ファイルのデータベース登録やサムネイル作成が行える。

- DICOM 画像送信プログラム

ローカルに保存されている DICOM 画像を DICOM サーバへ転送するサービスを提供する。デフォルトでは 2 分周期で定期的に実行される。ビデオコンバータから出力された動画を DICOM 変換後、DICOM サーバへ出力するために利用される。

- DICOM 画像削除プログラム

ローカルに保存されている DICOM 画像を自動で削除するサービスを提供する。デフォルトでは 2 分周期で定期的に実行される。DICOM 画像転送後に一定期間でデータが削除される。削除対象は既に DICOM サーバへ転送されている画像のみ

とした。

- ナビゲーション装置用インターフェース

ナビゲーション装置とのソケット通信や WebService に関するサービスを提供する。

- DICOM/非 DICOM 情報管理機能

DICOM の TAG 情報に time stamp を設定する機能や、定期的にサムネイルを作成する機能、動画像を管理する機能 (AVI 管理機能) を提供する。

(c) 病変の輪郭抽出法の改良

新たに作成した病変エッジ抽出ソフトウェアに関し、エッジ抽出処理に焦点を当てて説明する。エッジ抽出処理は次の 4Step で行うこととした。

1. 微分フィルタ処理
2. 非極大エッジ抑制処理
3. エッジ細線化処理
4. エッジ情報再構成処理

Step 1 においては、ノイズ抑制・エッジ強調機能を有する再帰フィルタである Lanser フィルタを使用した。一次元 Lanser フィルタのカーネルは以下で定義される。

$$g(x) = A \exp(-\omega |x|) \{ \cos(\omega |x|) + \sin(\omega |x|) \}$$

$$f(x) = B \exp(-\omega |x|) \sin(\omega x)$$
 ... (1)

ここで、 x はカーネルの位置、 A, B はそれぞれの規格化因子、 ω はフィルタパラメータである。 ω はフィルタの影響が及ぶ領域の大きさの逆数に対応する。 $g(x)$ は平滑化フィルタ、 $f(x)$ は微分フィルタとしての役割を果たす。

二次元画像に対して、各方向への微分値は以下で与えられる。

$$\begin{aligned} \tilde{E}_x(x, y) &= \iint dx' dy' I(x', y') f(x'-x) g(y'-y) \\ \tilde{E}_y(x, y) &= \iint dx' dy' I(x', y') g(x'-x) f(y'-y) \end{aligned} \quad \dots (2)$$

ここで、 $I(x', y')$ は画像位置 (x', y') での画素値、 $\tilde{E}_x(x, y), \tilde{E}_y(x, y)$ はそれぞれ x, y 方向への微分値を表す。積分区間は画像サイズの区間である。

この微分値は方向依存性があることが知られており、その補正を行うために以下の補正係数を求める。

$$\begin{aligned} X(\phi) &= 1 - \frac{1}{2(1 + \tan \phi)} - \frac{1 - \tan \phi}{2(1 + \tan^2 \phi)} \\ Y(\phi) &= 1 - \frac{1}{2(1 + \cot \phi)} - \frac{1 - \cot \phi}{2(1 + \cot^2 \phi)} \\ N(\phi) &= \sqrt{X^2(\phi) + Y^2(\phi)} \\ \phi &= \arctan\left(\frac{\tilde{E}_x}{\tilde{E}_y}\right) \end{aligned} \quad \dots (3)$$

この補正係数 $N(\phi)$ を用いて、以下のように微分値を補正する。

$$\vec{E} = (E_x, E_y) = \left(\frac{\tilde{E}_x}{N(\phi)}, \frac{\tilde{E}_y}{N(\phi)} \right) \quad \dots (4)$$

ただし、ここではすべての表記を連続データに対する式で示したが、実際の処理では離散近似式を用いて演算した。

このようにして得た画素値の微分値から、エッジとして認識できるものを選択するために Step 2 では非極大エッジの抑制処理をする。この処理では、画素値の勾配が八近傍四方向のうち少なくとも一方向に対して極大となっているものだけをエッジ候補とみなし、それ以外はエッジではないと判定する。

次に、Step3としてエッジ候補と判定したものに対して細線化処理を行う。Step2で求めたエッジ候補の中には、処理上、線幅が1画素ではないものが含まれる可能性がある。したがって、細線化処理によって線幅が2画素以上のエッジ候補に対して、1画素単位でのエッジの位置を特定する。この処理には、Hilditchのアルゴリズムを用いた。Hilditchの細線化アルゴリズムは、画像データに対して以下の6条件を満たすものがないかをラスタ走査により全画素に対して繰り返し行う処理である。

1. 図形画素（エッジ候補）である。
2. 境界点である。
3. 端点ではない。
4. 孤立点ではない。
5. 注目点を削除してもトポロジカルな連結性を保存する。
6. 線幅2の線分の片側だけを削除する。

これらの条件を注目画素とその八近傍画素から判断し、すべての条件を満たす場合には、その画素はエッジではないと判断する。エッジではないと判断される画素がなくなるまで処理を繰り返す。

最後に Step4として、細線化して取得したエッジのデータを画像データではなく、複数の連結した線データとして認識するために、エッジ追跡処理を行い、エッジ一本ごとにエッジの座標情報と、他のどのエッジと連結しているかという連結情報に再構成した。

腹部MRI画像(256×256)にこれらの処理を施して得た結果を提示する(図27-30)。図27は処理を行う前の元画像である。図28は上記のエッジ抽出処理によって得たエ

ッジの画像である。図29は図28で示したエッジを元画像に重畳した画像である。図30は、ユーザインターフェイスにてカーソルを合わせることによりエッジを選択し、その一本のエッジを強調表示している。選択したエッジは体表を囲むエッジとなっており、エッジの連結性を確認することができる。

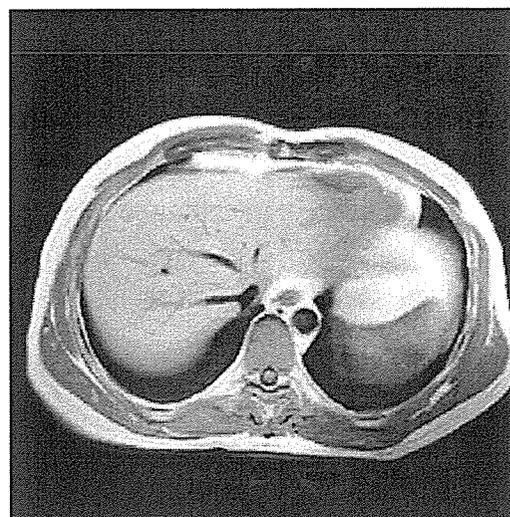


図 27 元画像

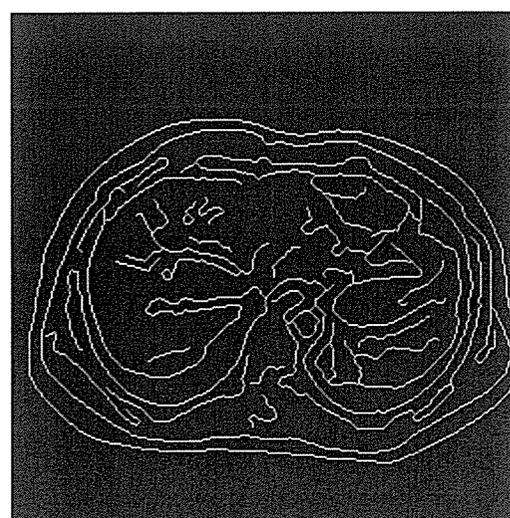


図 28 抽出エッジ

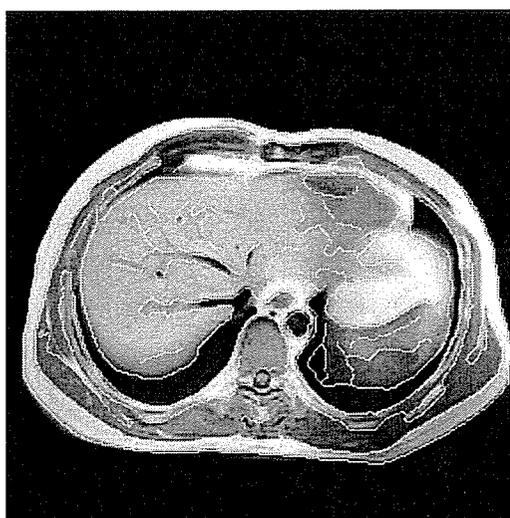


図 29 抽出エッジの重畳画像

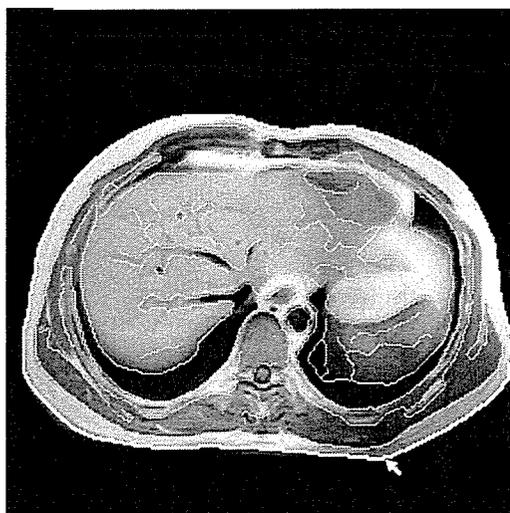


図 30 エッジの選択

D. 考察

[I] 昨年度は、手術室内に配置する X 線診断装置及び X 線 CT 装置が放射する電磁波ノイズ対策を重点的に行い、手術室天井に収納可能な昇降式電磁波シールドカーテンを設置した。今年度は、MR シールドルーム内に持ち込む機器、設備について、特に、放射線防護兼電磁波遮蔽を有し、かつ、自動ドアの大小の扉を動かすためのモータ、足先で開閉するためのフットセンサ、開閉時の障害物を検地するための光電センサ、

安全ビーム、チャイム、アナウンス回路などの電気信号や電源が、ノイズフィルタを通して MR シールドルームへ接続されているケースについて、ノイズフィルタによる接地漏れ電流を低減する方法について検討し、絶縁トランスによる効果を確認することができた。このことは、今後、MR シールドルーム内へ電磁波ノイズを発する機器類を持ち込む場合、同様にノイズフィルタを使用することから同様の手段をとることが考えられる。しかしながら、絶縁トランス自身からは漏洩磁場が存在し、かつ、内部に磁性体の鉄心を有する。今回のケースは、絶縁トランスを MR 装置から十分離れた場所に設置できたが、MR 装置との距離が近い場合や MR シールドルーム内での場所が不特定である場合には別途、評価が必要と考える。

[II] 手術支援ナビゲーションシステムの中核として機能する位置・姿勢情報の取得処理部を作成した。トラッキング装置として、光学式・磁気式の 2 つを挙げ、これらのトラッキング装置を複数台接続可能なソフトウェアを作成した。システムの負荷状況にも依存するが、通常、約 30msec おきに位置情報を取得することが可能である。

本ソフトウェアでは、すべてのトラッキング装置から取得する位置・姿勢情報を、基準となるトラッキング装置の座標系に変換する機能を有し、基準トラッキング装置が死角に入ったとしても、別のトラッキング装置から取得した位置・姿勢情報から基準トラッキング装置とほぼ等しい位置・姿勢情報を自動的に提示できることを確認した。今後、この機能の検証を行い、精度を

確実に保証できる領域を示す必要がある。

トラッキング装置を移動した際に自動的に再レジストレーションする機能に関しても、精度評価、精度保証領域評価を行い、安全性・信頼性の確立を図る必要がある。

トラッキング装置自体の精度評価実験を実施した結果、光学式トラッキング装置から取得した位置・姿勢情報に関しては歪みや各装置固有の特性などは見受けられず、信頼するに十分であることがわかった。一方、磁気式トラッキング装置から取得した位置・姿勢情報に関しては、通常環境にあっても歪みが顕著であり、メカ保証領域内でも光学式トラッキング装置に対して最大 2.48mm のずれが生じることがわかった。

また、アルミ板上での評価実験から、磁気式トラッキング装置の近傍に金属が存在する場合は位置・姿勢情報が大きくずれることを確認した。トランスミッターの下に敷設したアルミ板の配置を変えることにより、環境変化の影響がどれほどになるかを評価した。アルミ板の配置の仕方によって測定結果が大きく変わっていることから、磁気式トラッキング装置近傍の金属環境に対し非常に影響を受けやすいことがわかる。磁気式トラッキング装置から取得した位置・姿勢情報の歪みは非線形であり、補正を行ったとしても、精度を保証できるか不明である。また、術場にて想定される非磁性体金属製術台上での磁気式トラッキング装置の運用を考えると、環境が変わる度に補正をかける必要があり、あまり現実的ではないと考える。

[III] 手術ナビゲーション

(a) StarFabric データ通信制御ソフトウェアの開発

各装置からナビゲーションコントロール装置へのデータ転送速度、ナビゲーションコントロール装置でのデータ取得速度、転送要求イベントの送信からデータ取得までのトータル転送速度を計測し、パフォーマンスを評価した。

各装置からナビゲーションコントロール装置へのデータ転送速度、ナビゲーションコントロール装置でのデータ取得速度、転送要求イベントの送信からデータ取得までのトータル転送速度を計測し、パフォーマンスを評価した。評価用 PC には全て Pentium4 3GHz を用い、チップセットを Intel 900 番台と Intel800 番台で使い分け、データ転送性能を比較した。

MEMCPY 命令および MMX 命令を用いてデータサイズ 8MByte のデータを転送した際の処理速度を計測した結果、高速処理技術である MMX 命令を使用することにより 1.8 倍程度の処理性能の向上が見られたが、最も大きく転送速度の遅延に起因するのはチップセットの PCI バス転送能力であった。

Intel900 番台のチップセットから DDR2 メモリインターフェースが採用され、基本的なメモリバス転送速度の高速化が見られるが、FSE の帯域が拡張されていないことがボトルネックとなっている点、連続するアドレスへのアクセスに対して Intel800 番台のチップセットではバースト転送を行うが Intel900 番台のチップセットではシングル転送である点がその原因と考えられる。

この見地から位置取得装置や画像取得装

置のように単調な処理を反復する装置に関しては、Intel800 番台のチップセットを使用することを推奨する。

(b) 術中画像管理装置の開発

通常、画像ビューワ（手術ナビゲーション装置を含む）では膨大なデータをデータベースで管理するための DICOM サーバを設けているが、本件では、DICOM サーバとは別にナビゲーションコントロール装置との中継地点に DICOMIF サーバを設けた。DICOMIF サーバは医用画像やカメラ映像（動画・静止画）、ナビゲーションコントロール装置の各種パラメータ情報を一時的に保存し、高速にナビゲーションコントロール装置とデータを送受信することができた。ナビゲーションコントロール装置で取り扱う画像のデータ形式に AVI、JPEG を採用し、術中画像の DICOM サーバへの保存形式に DICOM を採用することで他の画像ビューワへの表示を可能とした。なお、これらのデータ形式変換は全て DICOMIF サーバで自動的に処理された。また、術中画像やナビゲーションコントロール装置の各種パラメータ情報に時間情報を付加し、その情報をトリガーとして時間同期できるものとした。さらには、ナビゲーションコントロール装置と DICOMIF サーバとのデータ転送方式に WebService を採用することで、以後の仕様変更や機能追加に柔軟に対応できるものとした。従って、本システムでは、ナビゲーションコントロール装置は動画像形式を意識することなく術中画像を管理できること、時間同期管理により複数のデータを関連づけ、術中・術後に手術の状況を再現できること、WebService によりシステム開発・連携・メンテナンスコストの削減が図

れ、利便性と可用性が向上すること、が利点として挙げられる。

(c) 病変の輪郭抽出法の改良

エッジ抽出処理ソフトウェアの作成を行った。本処理によるエッジ抽出結果をみると、体表や臓器輪郭のかなりの部分を抽出できていることが確認でき、およそ良好な処理結果を示していると理解できる。しかし、微細なヒゲ状エッジや抽出が不完全な部分が見受けられ、更なる改良を行う必要もあると思われる。

本処理により得られるエッジ情報は必ずしも連結性を保つものではなく、領域抽出そのものとしての機能としては不完全である。しかし、既に開発済みの動的輪郭モデルを用いた領域抽出処理と組み合わせることにより、初期輪郭取得を半自動化することが可能となり、領域抽出結果の安定性につながる。また、抽出エッジ情報を用いることにより領域抽出処理を高速化することができる。

E. 結論

[I] 今回の MRX 手術室環境構築の研究において、昨年度、構築した国立がんセンター中央病院 9 階手術フロアに MRX 手術室をもとに、行われている臨床研究と連携し、MRX 手術室の安全な運用を促進するため、MRX 手術室環境整備の開発を行った。その環境整備として、放射線防護兼電磁波遮蔽自動ドアのシステムにおいて、絶縁トランスを設置することにより、接地漏れ電流を低減し、MRX 手術室のさらなる安全な運用を促進することができた。

[II] 位置センシング技術の開発に関し、光学式トラッキング装置二台によって冗長性があるものの、死角なく、リアルタイムに常時位置を検出できることを確認できた。磁気式トラッキング装置による位置検出は、環境変化の影響があり、その度に補正をかける必要があるため、現実的な位置検出手段ではないと考える。超音波利用の位置検出を評価する装置を開発した。

[III] 手術ナビゲーションに関し、拡張性を保ちつつ処理分散化するのに必要なデータ通信制御ソフトウェアを実装した。また、画像サーバとナビゲーションコントロール装置とで、動画・静止画・ナビゲーション設定情報をデータ送受信するためのインターフェースを構築した。病変の輪郭抽出法に関しては、体表や臓器輪郭のかなりの部分を抽出できていることを確認したが、微細なヒゲ状エッジや抽出が不完全な部分が見受けられ、更なる改良を行う必要もある。

G. 研究発表

1. 論文発表

本年度は該当なし。

2. 学会発表

- 1) タイトル：「画像誘導ロボット外科手術のための強歪み画像に対する歪み補正方法」

発表場所：JAMIT2006

(日本医用画像工学会)

発表者：谷口拓樹^{*}、西村博、
小林寿光、垣添忠生

- 2) タイトル：「術中オープンMRI 下でのMR 画像における臓器領域抽

出」

発表場所：JAMIT2006

(日本医用画像工学会)

発表者：阿部信隆^{*}、谷口拓樹、
西村博、小林寿光、垣添忠生

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

- 1) 特願2007-30649 (出願2007/2/9)

発明の名称：頭部固定装置

国立がんセンター、柿沼製作所、東邦テナックス、吉田電材との共同出願

- 2) 特願 2007-30658 (出願 2007/2/9)

発明の名称：診療用体位保持装置

国立がんセンター、柿沼製作所、東邦テナックス、吉田電材との共同出願

2. 実用新案登録

本年度は該当なし。

3. その他

該当なし。

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
<u>土田敬明</u> .	経気管支生検.	加藤治文, 他.	肺癌の臨床	篠原出版社	東京	2006	137-143
<u>中馬広一</u> .	転移性脊椎腫瘍による脊椎麻痺.	日本臨床腫瘍学会.	新臨床腫瘍学ーがん薬物療法専門医のためにー	南江堂		2006	703-707
<u>中馬広一</u> .	悪性腫瘍骨転移に伴う骨関連症状	尾形悦郎 /監修.	ゾレドロン酸のEBM	メデイカルビュー社		2006	60-72
<u>木下貴之</u> .	術前化学療法後のセンチネルリンパ節生検		乳癌の臨床	篠原出版新社	東京	2006	135-139
<u>藤元博行</u> .	7-泌尿器科手術と解剖 骨盤内手術 (前立腺全摘除術, 膀胱全摘除術) 膀胱全摘除術 [女性]	吉田修, 他.	新 泌尿器科手術のための解剖学	(株)メジカルビュー社	日本	2006	156-163

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
<u>Yamada D, Kakizoe T, et al.</u>	Promoter hypermethylation of the potential tumor suppressor DAL-1/4.1B gene in renal clear cell carcinoma.	Int J Cancer	118	916-923	2006
<u>Kosuge T, Kakizoe T, et al.</u>	A multicenter randomized controlled trial to evaluate the effect of adjuvant cisplatin and 5-fluorouracil therapy after curative resection in cases of pancreatic cancer.	Jpn J Clin Oncol	36	159-165	2006
<u>Hamashima C, Kakizoe T, et al.</u>	Comparison of observed and expected numbers of detected cancers in the Research Center for Cancer Prevention and Screening program.	Jpn J Clin Oncol	36	301-308	2006
<u>Kakizoe T.</u>	Development and progression of urothelial carcinoma.	Cancer Sci	97	821-828	2006
<u>Tateishi U, Kakizoe T, et al.</u>	Staging performance of carbon-11 choline positron emission tomography/computed tomography in patients with bone and soft tissue sarcoma: comparison with conventional imaging.	Cancer Sci	97	1125-1128	2006
<u>Manome Y, Kobayashi T, et al.</u>	Local delivery of doxorubicin for malignant glioma by a biodegradable PLGA polymer sheet.	Anticancer Res	26	3317-3326	2006
<u>小林寿光, 垣添忠生, 他.</u>	外科手術に効果大きいMR設置のMRX手術室開設と応用開始.	新医療	33(6)	71-74	2006

Chui C, <u>Sakuma I</u> , et al.	Transversery isotropic properties of porcine liver tissue.	Med Bio Eng Comput	45	99-106	2007
鈴木孝司, <u>佐久間一郎</u> , 他.	画像誘導下手術支援ロボットシステムのための MRI 対応モータ駆動法.	生体医工学	44(4)		2006
Suzuki T, <u>Sakuma I</u> , et al.	Evaluation of compact forceps manipulator using friction wheel mechanism and gimbals mechanism for laparoscopic surgery.	Computer Assisted Radiology and Surgery	1(Suppl 1)	220-222	2006
Onogi S, <u>Sakuma I</u> , et al.	Simultaneous measurement of position and orientation for interventional MRI devices.	Computer Assisted Radiology and Surgery	1(Suppl 1)	496	2006
Aoki E, <u>Hashizume M</u> , <u>Sakuma I</u> , et al.	Design of modular master-slave surgical robotic system for integrating independently developed forceps manipulator.	Computer Assisted Radiology and Surgery	1(Suppl 1)	506	2006
Noguchi M, <u>Iseki H</u> , <u>Sakuma I</u> , et al.	A novel robotic laser ablation system for precision neurosurgery with intraoperative 5-ALA-induced PpIX fluorescence detection.	Proceedings of 9 th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention	Lecture Note in Computer Science 4190	543-550	2006
<u>伊関洋</u> , 他.	ロボット外科 (精密手術).	適応医学	10(2)	40-45	2006
Nishizawa K, Fujie MG, Dohi T, <u>Iseki H</u> , et al.	Development of surgical manipulator system "HUMAN" for clinical neurosurgery.	Japan Medical Association Journal	49(11&12)	335-344	2006
Noguchi M, <u>Iseki H</u> , <u>Sakuma I</u> , et al.	A novel robotic laser ablation system for precision neurosurgery with intraoperative 5-ALA-induced PpIX fluorescence detection.	Lecture Note in Computer Science	4190	543-550	2006
Yamashita H, <u>Sakuma I</u> , <u>Hashizume M</u> , <u>Dohi T</u> , et al.	Feasibility analysis of bipolar electric scalpel forceps manipulator with 2-DOFs bending mechanisms.	Proc World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006	14	2980-2983	2006
Yagi A, <u>Dohi T</u> , et al.	Rigid-flexible outer sheath model using shape lock mechanism by air pressure and wire driven curving mechanism.	Proc World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2006		CD-ROM	2006
Yagi A, <u>Dohi T</u> , et al.	Rigid-flexible outer sheath model using slider linkage locking mechanism by air pressure for endoscopic surgery.	Proc 9th Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention 2006		503-508	2006

Yagi A, <u>Dohi T</u> , et al.	Rigid-flexible outer sheath device using slider linkage and air pressure locking mechanism for laparoscopic surgery.	Proc 20th International Congress and Exhibition of Computer Assisted Radiology and Surgery 2006	1(Suppl 1)	508	2006
八木昭彦, <u>土肥健純</u> , 他.	柔剛可変外套管マニピュレータにおける三次元湾曲機構の開発及び体内侵入特性に関する評価.	第 15 回日本コンピュータ外科学会大会・第 16 回コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集		133-134	2006
山下紘正, <u>佐久間一郎</u> , <u>橋爪誠</u> , <u>土肥健純</u> , 他.	バイポーラ型電気メス屈曲鉗子マニピュレータの細径化.	第 15 回日本コンピュータ外科学会大会・第 16 回コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集		99-100	2006
神垣剛, <u>土肥健純</u> , 他.	前立腺がん MR 誘導下集束超音波におけるプローブ操作のための MR 対応材料製マニピュレータの開発.	第 15 回日本コンピュータ外科学会大会・第 16 回コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集		93-94	2006
西澤暁, <u>土肥健純</u> , 他.	前立腺凝固後切除マニピュレータの開発: 凝固及び切除能力の評価.	第 15 回日本コンピュータ外科学会大会・第 16 回コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集		101-102	2006
神垣剛, <u>橋爪誠</u> , <u>土肥健純</u> , 他.	前立腺がん熱凝固治療用集束超音波プローブ位置決め操作のための 5 節リンク式マニピュレータの基礎的開発.	第 45 回日本生体医工学会大会論文集	44(Suppl 11)	397	2006
西澤暁, <u>土肥健純</u> , 他.	前立腺がん凝固後切除マニピュレータの基礎的開発.	第 45 回日本生体医工学会大会論文集	44(Suppl 11)	398	2006
吉田匠, <u>館暲</u> , 他.	5 自由度両眼 RPT ディスプレイの研究.	日本バーチャルリアリティ学会大会論文集	11	490-493	2006
<u>Hashizume M.</u>	MR image-guided surgical robotic system.	International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery	1(1)	203-205	2006
小西晃造, <u>橋爪誠</u> , 他.	光磁気ハイブリッド三次元位置センサによる内視鏡外科手術 AR ナビゲーションシステム ～in vivo 精度検証～.	日本コンピュータ外科学会誌	8(2)	81-87	2006

荒田純平, 橋爪誠, 他.	低侵襲手術支援システムによる日本一タイ遠隔手術実験.	第15回日本コンピュータ外科学会大会/第16回日本コンピュータ支援画像診断学会大会合同論文集		33-34	2006
元吉正樹, 藤江正克, 他.	低侵襲手術用磁気駆動方式マニピュレータの開発.	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006 論文集	2006 年度	2A1-11(DVD)	2006
仙道雅彦, 石山和志, 他.	端部磁性体を配置した高周波キャリア型磁界センサの感度向上に関する研究.	日本応用磁気学会	30	225-228	2006
村山芳隆, 石山和志, 他.	熱処理温度制御による高周波キャリア型薄膜磁界センサの高感度化.	日本応用磁気学会	30	237-242	2006
豊田征治, 石山和志, 他.	複数 LC 共振型磁気マーカを用いた多点位置検出システム.	日本応用磁気学会誌	30	391-395	2006
Hashi S, Ishiyama K, et al.	Wireless magnetic motion capture system for multi-marker detection.	IEEE Trans Magn	42	3279-3281	2006
Kinoshita T.	Sentinel node biopsy examination for breast cancer patients with clinically negative axillary lymph nodes after neoadjuvant chemotherapy.	Am J Surg	191	225-229	2006
Kinoshita T.	Sentinel lymph node biopsy is feasible for breast cancer patients after neoadjuvant chemotherapy.	Breast Cancer	14	10-15	2007
宮北康二, 他.	脳深部病変としての転移性脳腫瘍の治療戦略.	Clin Neurosci	24(12)	1331-1333	2005
藤元博行.	癌外科治療のイーハトープ・オーダーメイド医療.	泌尿器外科	19(Suppl)	311-313	2006
赤倉功一郎, 藤元博行, 垣添忠生, 他.	局所進行前立腺癌に対する根治的前立腺摘除術+内分泌療法と放射線外部照射+内分泌療法とを比較する無作為化比較試験の長期成績.	泌尿器外科	19	967-969	2006
Takahashi Y, Onaya H, et al.	Imaging features of large intraductal papillary-mucinous carcinoma of the pancreatic tail.	Pancreas	32(3)	334-335	2006
Negishi T, Matsumura Y, et al.	NK105, a paclitaxel-incorporating micellar nanoparticle, is a more potent radiosensitizing agent compared to free paclitaxel.	Br J Cancer	95	601-606	2006
Koizumi F, Matsumura Y, et al.	Novel SN-38-incorporated polymeric micelles, NK012, eradicate vascular endothelial growth factor-secreting bulky tumors.	Cancer Res	66	10048-10056	2006

【MOOK 肺癌の臨床 2005-2006】

経気管支生検

土田敬明

株式会社 篠原出版新社

疫学

病理

発見

診断

治療

▽ 末梢型肺癌

経気管支生検

はじめに

高速らせん CT が検診に導入されるようになり、肺野の小型孤立性病変が数多く発見されるようになった。これまでは、わが国では肺野型肺がんの診断には経気管支生検が積極的に行われてきた。Evidence-based Medicine (EBM) の手法による肺癌の診療ガイドライン策定に関する研究班では、肺がん手術前に確定診断を行うのが望ましいとしており¹⁾、小型孤立性病変に対しても経気管支生検が試みられてきた。しかし、小型の肺野病変に対する確定診断率は満足するものではなく、高分解能 CT を詳細に読影した上で行われた経気管支生検でも、長径が 1 cm 以下の場合には、その診断率は 44%であったとの報告がある²⁾。このように、経気管支生検は肺野の小型孤立性病変に対する診断法として信頼性に欠けるため、特に長径が 2 cm 以下の病変に対しては行われなくなってきた。これらの小型孤立性肺野病変への対応として、現在では CT による経過観察または開胸生検・VATS を選択することが多くなった。特に、結節性病変では、明らかにがんを否定できる病変以外は全身麻酔下の手術が選択されるようになってきている。しかし、開胸生検や VATS による生検の結果、結核などの良性病変であったなどの例も多く、これらのケースでは結果的には全身麻酔下での手術は不要であったと考えられる。

経気管支生検は経皮肺針生検や開胸肺生検に比べて合併症が少なく、孤立性肺野病変の確定診断法としては第 1 選択となる検査方法と考えられる。本稿では、孤立性肺野病変に対する経気管支生検の現状と問題点について考察する。

1 孤立性肺野病変に対する経気管支生検の適応

孤立性肺野病変に対する経気管支生検の適応には絶対的禁忌はないとされている。したがって、孤立性肺野病変は全て経気管支生検の適応となりうる。相対的非適応は、リスクとベネフィットのバランスを考慮し、呼吸器科医および放射線科医を含んだミーティングで議論した上決定されるべきとされている^{3,4)}。相対的非適応を検討する際に考慮すべき項目を表 1 に示す。

経気管支生検を考慮する際には、患者およびその家族に対して、検査の必要性、診断精度、起こりうる合併症とその発生頻度や対処方法、他の確定診断方法あるいは確定診断を付けない場合との比較（それぞれの場合のリスクおよびベネフィット）を正確に情報開示する必要がある。その上で、患者本人に検査を受ける意志があるかどうかを文書にて確認を行う。

経気管支生検を施行する前に行うべき検査として、PT、APTT、血小板数、呼吸機能検査、胸部 CT 検査が挙げられる。出血傾向や低肺機能では検査のリスクが増加するため相対的に非適応となるケースがある。また、経気管支アプローチによる検体採取が可能であるかどうかを判定するためには胸部 CT 検査は必須となる。経気管支生検の精度は責任気管支の確認の有無により影響を受けるとされており、特にサイズが小さい場合や責任気管支がわかりにくい場合には高分解能 CT (HRCT) 画像による検討が必要である。HRCT 画像を作製する際には、病変の性状がわかる範囲だけでなく、責任気管支を同定できる範囲で再構成を行うことが重要である。病変に関与する気管支を同定できない場合でも、病変に近接する気管支から経

表1 適応決定のために考慮すべき項目

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 患者および家族の意志：診断方針についての正確な情報開示が必要 2. 出血傾向の有無 <ol style="list-style-type: none"> a. 血小板数：100,000/ml以上 b. APTT比またはPT比：1.4以下 3. 呼吸機能 4. 経気管支アプローチによる検体採取の可能性の検討 5. 経皮生検を考慮すべきもの <ol style="list-style-type: none"> a. CT上、気管支鏡でのアプローチができないと判断されたもの b. 多発肺結節 c. 肺門部のMass |
|---|

気管支針吸引細胞診が可能ながあるるので、責任気管支が存在しないというだけでは経気管支生検の相対的非適応とは言えない。相対的非適応に関しては、呼吸器科医や放射線科医を含めたミーティングで検討するべきである。

病変のサイズにより適応決定がされているケースがあるが、病変のサイズと経気管支生検の診断精度との間には明らかな相関はないと考えられる。サイズが1 cm以下のケースで診断精度が下がるとの報告があるが、症例数が少なく、責任気管支が同定されないなどの他の因子の影響も大きいと考えられるため、サイズのみで適応を決定する根拠としては薄弱であると考えられる。ただし、サイズが小さい場合には、確定診断をせずにCT等で経過観察を行う場合のリスクがサイズの大きいものに比べて小さいと考えられるため、経気管支生検が相対的に非適応となるケースが多いと考えられる。

気管支鏡でアプローチができないと判断されたもの、多発肺結節、肺門部のMassについては経皮針生検による診断を検討する³⁾。ただし、肺門部のMassについては、経気管支超音波ガイド下またはCTガイド下針吸引細胞診が有効であるとの報告もある^{5,6)}。

2 | 前処置および麻酔方法

前処置として、唾液分泌の抑制、気道分泌の抑制、副交感神経反射の抑制の目的で硫酸アトロピン0.5 mgの筋肉内注射を行うが、前立腺肥大、緑内障では禁忌である。呼吸器内視鏡学会の調査では、硫酸アトロピンにより抑制された有害事象は検査中の喘息発作のみで、硫酸アトロピンの使用は必須ではないとされている。鎮静目的で、ミダゾラム0.03~0.06 mg/kgの静脈内注射を行うが、患者の協力が得られ、反射も少ない場合には使用しなくても良い。ミダゾラムを使用する場合には、検査後フルマゼニルで拮抗覚醒させる。

麻酔は、リドカインによる局所麻酔で行われることが多い。咽頭~喉頭の麻酔には2%リドカイン5 ml程度を用いるのが一般的である。喉頭噴霧器を用いる場合は咽頭に少量を噴霧し、急性の過敏症状が起こらないことを確認する。気管支内麻酔にもリドカインを用いるが、咽喉頭麻酔とあわせて5 mg/kg (体重60 kgで300 mg, すなわち2%で15 ml)にとどめることが望ましい。

3 | X線透視下経気管支生検

X線透視下経気管支生検は、孤立性肺野病変に対する標準的な診断法として広く普及している方法である。X線透視装置としてCアームを使用する方法と二方向撮影装置を用いる方法がある。何れの方法でも検査の感度には影響を与えないと考えられるが、後者の方がやや検査時間を短縮できると考えられる。単方向のX線透視のみで経気管支生検を行う方法は検査の感度が著しく低下すると考えられ推奨で

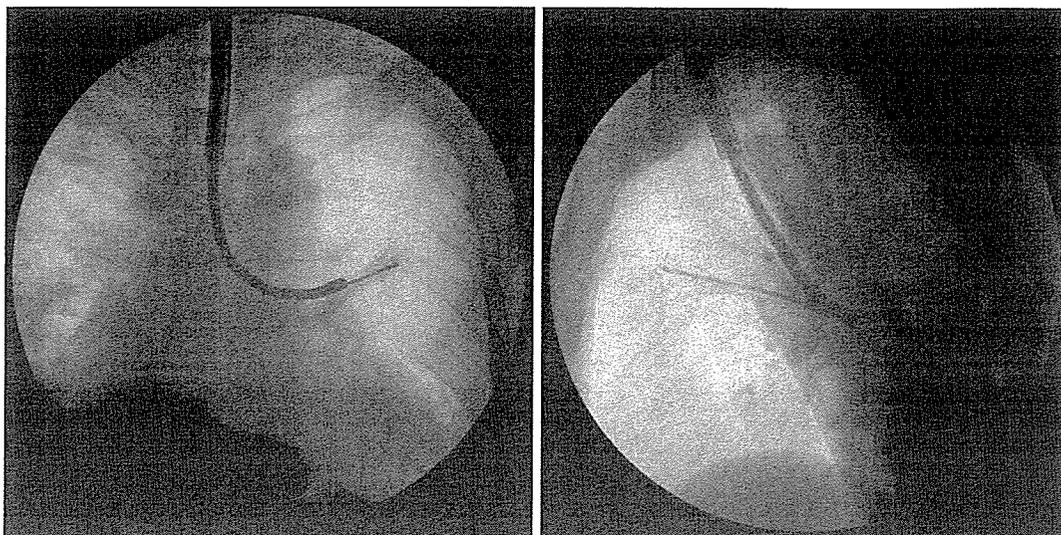


図1 X線透視下経気管支生検

きない。通常使用される生検器具として、鉗子、ブラシ、穿刺針、キュレットなどが挙げられる。これらの器具による複数の検査方法を組み合わせたほうが診断率は向上すると報告されている⁷⁾。図1では生検器具としてキュレットを用いているが、正面および側面の透視により生検器具の先端がターゲットにヒットしていることを確認する。この方法では透視で見難い病変に対する感度は低くなると考えられている²⁾。

この方法の感度および正診率は、2005年1月から8月までの自験例191例でそれぞれ84%および89%であった。オンサイトで迅速細胞診を行うとともに感度および正診率が改善するとの報告もある⁸⁾が、コストとのかねあいでの実施が困難な施設も少なくない。

4 | CT透視を併用した経気管支生検

低線量CTによる検診が行われるようになり、小型でX線透過率が高い病変が診断の対象となるようになってきた。これらの病変は通常のX線透視では位置の確認が困難で、X線透視下経気管支生検では正確な診断が期待できないことが多い。このようなケースに対して、CT透視を併用したり、超音波内視鏡でアプローチしたり、極細径内視鏡でアプローチしたりするなどの方法が開発されている^{10,11)}。これらの方法によりX線透視で位置の確認が困難な病変に対しても比較的正確に診断ができるようになった。ここでは、CT透視を併用した経気管支生検について考察する。

CT透視併用経気管支生検では、まずX線透視下に生検器具のアプローチを行い、その後CT透視を行うことにより生検器具が正確にターゲットに達しているかを確認することにより生検精度を高めている(図2)。すなわち、CT透視を併用することにより、X線透視で一見Hitしているように見える場合にもHitしていないことが明らかになったり、X線透視では確認不可能な病変への生検器具の到達を確認できたりする利点がある。欠点としてはCT透視でHitしていない場合に、CT透視下では生検器具の位置の修正が非常に難しいことが挙げられる。したがって、生検器具の位置を修正する場合にはX線透視下で行う方がよい。この際、Multiplanar Reconstruction (MPR) 画像や3D-CT画像、パーティクル内視鏡などによりナビゲーションを行うとより修正操作が容易となると考えられる。また、CT透視時には、CT画像の左右を反転させた方が生検器具の位置の把握がしやすい(図2)。

この方法の感度および正診率は、2005年1月から8月までの自験例47例でそれぞれ87%および91%であった。この成績は、主としてX線透視にて病変が確認困難なケースに適応しているにもかかわらず、先に示した同時期のX線透視下経気管支生検の成績よりも良好であり、経気管支生検の精度を向上させるの

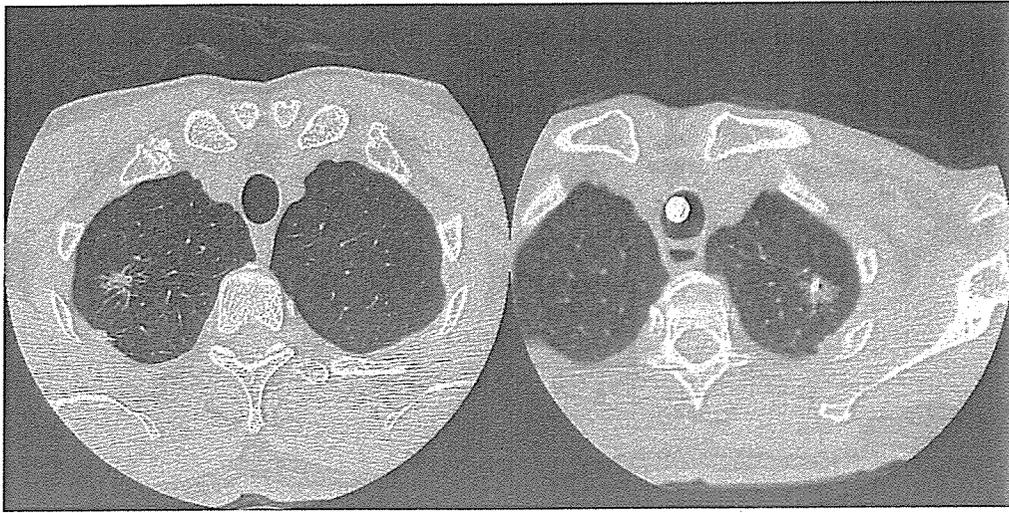


図2 CT併用経気管支生検

CT透視時には、CT画像を左右反転させて表示した方が位置の理解をしやすい。

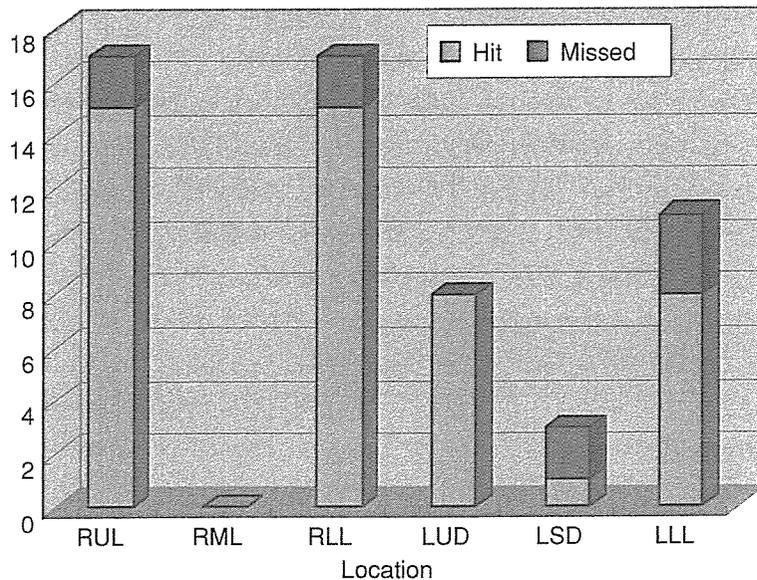


図3 CT併用経気管支生検56例の成績

RUL：右上葉，RML：右中葉，RLL：右下葉，LUD：左上区，
LSD：左舌区，LLL：左下葉。

に有効な方法と考えられる。欠点として、術者への被曝が挙げられるが、MPR画像や3D-CT画像、バーチャル内視鏡などによりナビゲーションを行うことによりCT透視の時間を短縮することが期待される。

5 誘導困難な部位へのアプローチ方法

X線透視下やCT併用の経気管支生検では、責任気管支の走行によっては生検器具が誘導困難な部位が存在する。具体的には、左上葉²⁾、S1およびS²⁷⁾、左S5¹²⁾、右S5¹³⁾、左下葉¹⁴⁾、S10¹⁵⁾等が報告されている。自験例でのCT併用経気管支生検での部位別成績を図3に示す。左舌区および左下葉で生検成績が悪く、過去の文献による報告とも一致する。これらの部位で成績が悪い理由として、心臓の影響により気管支の走行が曲げられているためと考えられる。また、責任気管支が娘枝である場合も生検器具の誘導は困難で

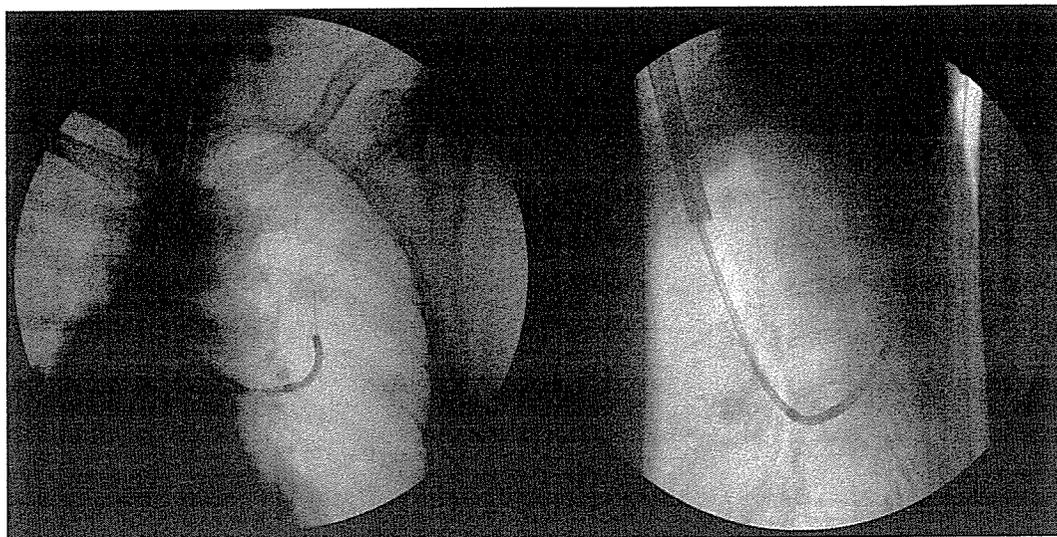


図4 極細経気管支鏡による経気管支生検

ある。これらのアプローチ困難な部位の病変に対しても生検器具を誘導する方法として、極細径気管支鏡やガイディングカテーテルによる生検器具の誘導法が開発されている。

極細径気管支鏡は外径が2.8 mm以下で、多くの場合末梢気管支への挿入が可能である。ガイド光の光量に限界があるため、口腔内、喉頭、気管などでは暗いために位置の把握が困難なことがある。気管内挿管下で検査を行うと位置の把握がしやすい。孤立性肺野病変に対して極細径気管支鏡下に擦過細胞診を行った症例を図4に示す。病変は左S6aに存在し、通常の鉗子やブラシの誘導は困難であった。極細経気管支鏡を用いることによりブラシの誘導が可能となり、擦過細胞診を行うことによりAdenocarcinomaの診断を得た。本症例では、病変は屈曲した気管支が責任気管支となっており、鉗子のみならずキュレットにてアプローチが困難であったが、極細径気管支鏡で確定診断を得ることができた。このような症例ではCTガイド下肺針生検を確定診断法として選択することが多いが、経気管支的にもアプローチできるようになり、より侵襲の少ない方法を選択できるようになった。

ガイディングカテーテルによる誘導困難部位へのアプローチも開発されている。ガイディングカテーテルは先端が屈曲しており、娘枝へのアプローチも可能である。擦過細胞診用のブラシを芯にすることにより、このブラシを前後することにより屈曲の角度を調節することができる(図5)。ガイディングカテーテルは血管内での使用を前提としており、キュレットや鉗子に比べて周囲の組織を傷つけにくいという利点がある。回転トルクもキュレットに比べて伝わりやすく、操作がしやすい。孤立性肺野病変に対してガイディングカテーテルでアプローチし生検および擦過細胞診を行った症例を図6に示す。病変は右S1bに存在し、通常の鉗子の誘導は困難であった。キュレットやブラシの先端を屈曲させるなどの方法でもアプローチ可能と思われたが、転移か原発かの鑑別を要したため、組織診が可能なガイディングカテーテル法を選択した。まず、ガイディングカテーテルを病変部位に誘導し、芯として使用しているブラシで病変の擦過細胞診を行った。つぎにブラシを抜いて代わりにガイドワイヤーをカテーテル内に挿入し病変部に留置、カテーテルを抜き、ガイドワイヤーの誘導により鉗子を誘導するためのシースを挿入し、そのシースにより鉗子を病変部に誘導、組織診を完遂した。組織診により子宮体癌の転移と診断され、抗エストロゲン療法によりPRが得られた。

アプローチ困難な部位に生検器具を誘導する方法として、他に屈曲鉗子を使用する方法やシースつきキュレットを使用する方法なども開発され、それぞれ有効性が報告されている。これらの方法で、責任気管支が同定された場合には肺内のほとんどの部位に生検器具を到達させることが可能と考えられる。ただし、肺門部の比較的太い気管支の周囲で、かつ経気管支針吸引細胞診が困難な部位の病変は現時点でも経気管支的に

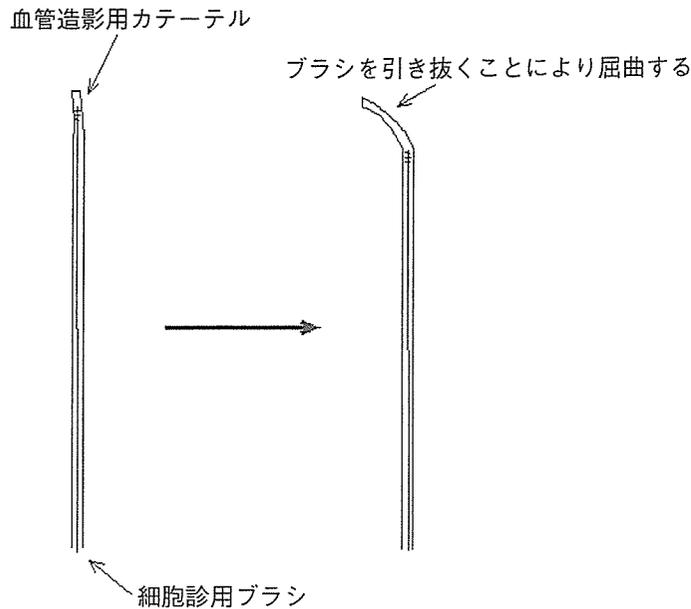


図5 ブラシを用いたガイディングカテーテルの先端のコントロール

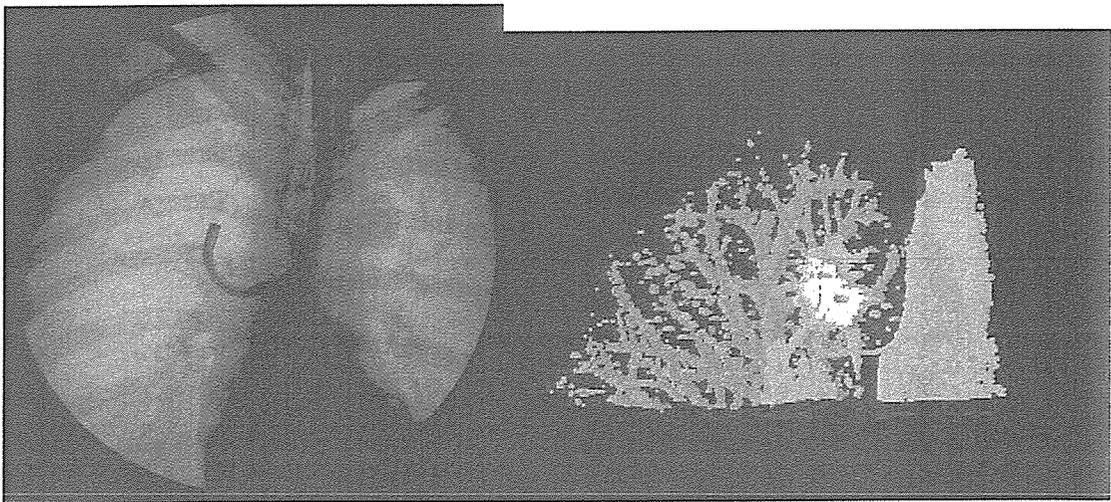


図6 ガイディングカテーテルを用いた経気管支生検

右：S1bの孤立肺野病変。3D-CTで病変に関与する責任気管支は娘枝であることがわかる（責任気管支を橙色，病変を黄色で表示）。

は診断困難と思われる。

6 病変の大きさと検査成績

病変の大きさと検査成績についてこれまでに述べた方法を組み合わせて生検を行った症例について検討を行った。2005年1月から8月までの高分解能CTで最大径2cm以下で経気管支生検が行われた孤立性肺野病変38例では、感度90%、正診率95%を得ており、大きさが2cm以下の病変でも十分経気管支生検の適応と考えられる。ただし、サイズが小さくなると責任気管支の同定が困難になりやすいと考えられ、特にサイズが小さい病変に対して経気管支生検を考慮する場合には、MPR画像や3D-CT画像で経気管支アブ

ローチが可能であるか詳細に検討する必要がある。

まとめ

低線量 CT 検診の普及により小型の孤立性肺野病変が発見されるようになり、経気管支生検や経皮生検をせずに VATS や開胸生検になるケースが増えている。また、マルチスライス CT によりぶれの少ない高分解能 CT 撮影ができるようになり CT による診断能が高まったことも経気管支生検を省略する原因として挙げられると考えられる。しかし、Evidence-based Medicine (EBM) の手法による肺癌の診療ガイドライン策定に関する研究班では、肺がん手術前に確定診断を行うのが望ましい (グレード A) としており¹⁾、経気管支生検で診断可能と考えられる病変に対しては、積極的に本法を適応するべきである。

文献

- 1) Evidence-based Medicine (EBM) の手法による肺癌の診療ガイドライン策定に関する研究班・編。EBM の手法による肺癌診療ガイドライン 2003 年版, 金原出版, 東京, 2003
- 2) 遠藤正浩, 高田佳木, 大林加代子・他: 2 cm 以下の末梢小型肺癌に対する経気管支診断と病理診断に関する考察。肺癌 39: 821-827, 1999
- 3) Manhire A, Charig M, Clelland C, et al: Guidelines for radiologically guided lung biopsy. *Thorax* 58: 920-936, 2003
- 4) Spagnolo SV: The Diagnostic Strategy for Lung Cancer. *Chest* 117: 1219-1220, 2000
- 5) Herth FJ, Becker HD, Ernst A: Ultrasound-Guided Transbronchial Needle Aspiration. *Chest* 123: 604-607, 2003
- 6) White CS, Weiner EA, Patel P, et al: Transbronchial Needle Aspiration: Guidance With CT Fluoroscopy. *Chest* 118: 1630-1638, 2000
- 7) 柴 光年, 馬場雅行, 山下久美・他: 末梢肺癌の細胞診—特に TBLB, TBAC を中心とした術前診断法の検討。日胸疾会誌 24: 417-422, 1986
- 8) Bandoh S, Fujita S, Tojo Y, et al: Diagnostic Accuracy and Safety of Flexible Bronchoscopy With Multiplanar Reconstruction Images and Ultrafast Papanicolaou Stain: Evaluating Solitary Pulmonary Nodules. *Chest* 124: 1985-1992, 2003
- 9) Katada K, Kato R, Anno H, et al: Guidance with real-time CT-fluoroscopy: early experience. *Radiology* 200: 851-856, 1996
- 10) Kobayashi T, Shimamura K, Hanai K, et al: Computed tomography-guided bronchoscopy with an ultrathin fiberoptic. *Diagn Ther Endosc* 2: 229-232, 1996
- 11) 栗本典昭, 長田博昭, 宮澤輝臣・他: 肺末梢病変の診断における気管支腔内超音波断層法の有用性。気管支学 27: 290-295, 2005
- 12) 楠 洋子, 瀧藤伸英, 高田 実・他: 肺野孤立性陰影に対する気管支鏡検査の役割—経気管支的腫瘍生検 (TBLB) を中心に。気管支学 13 (suppl): 92-97, 1991
- 13) 中田正幸, 木村一博, 北條貴子・他: 肺野孤立性陰影に対する経気管支的生検組織診断率の検討。気管支学 19: 379-382, 1997
- 14) Baaklini WA, Reinoso MA, Gorin AB, et al: Diagnostic yield of fiberoptic bronchoscopy in evaluating solitary pulmonary nodules. *Chest* 117: 1049-1054, 2000
- 15) Chechani V: Bronchoscopic diagnosis of solitary pulmonary nodules and lung masses in the absence of endobronchial abnormality. *Chest* 109: 620-625, 1996

(土田 敬明)