総 説

特集：手術機器としてのコンピュータ

内視鏡下手術領域におけるコンピュータ関連器材

大橋 秀一* 谷口 英治* 瀧口 修司*

はじめに

近年、コンピュータ・テクノロジーの進歩と普及は著しく、われわれの日常使用する手術室においても、電源を使用する機器のほとんどにマイクロ・プロセッサが内蔵されているといっても過言ではない。一方、筆者らの専門領域である内視鏡外科手術は、体腔内に挿入したスコープからの画像を利用して手術を行う video-assisted surgery であることが特徴であり、われわれはこれを「画術」と称している。さらにはこの画像を見ながら、直接手で触りながら手術を行うのではなく、専用の鉗子等の器具を用いて手術するいわば「具術」であることもその大きな特徴である。こういう観点からコンピュータを駆使した最新機器の応用・導入が図りやすい分野といえる。本稿では内視鏡下手術を中心として、最近話題の多いコンピュータを応用した近未来の手術関連機材について概説する。

1. 手術支援用ロボット

コンピュータを応用した手術関連機材のなかでも最も華々しく紹介されているのが手術支援ロボットである。この領域で最も最初に報告されたのが IBM 社が開発した ROBDOC system であろう。これは整形外科手術である股関節の人工骨頭置換術において、患者の CT データを事前にコンピュータに取り込んでおいて、ロボット技術を用いてオリエンテーション用のスク

リユーを打ち込むことから、大腿骨内部の加工などを自動的に行う装置である。こういった事前のデータをもとにした automatic な作業をするロボットに始まり、最近では外科医（人間）の指示にしたがって忠実に仕事をする、いわゆる master-slave 型のロボットまで研究されている^{1,2)}。先に述べたように内視鏡下手術は体腔内にスコープを含めた専用器具を挿入して行うが、体壁を通過する点が支点となるため、通常の手術に比較してロボットアームの空間自由度が少ないといえる。そういう意味で内視鏡下手術にはロボット技術が臨床応用されやすい背景がある。

① AESOP 2000 (音声認識型内視鏡コントローラー)

これは米国 Computer Motion 社が開発し、すでに日本でも市販されている内視鏡手術支援

図 1 音声認識型内視鏡コントローラー AESOP 2000 (Computer Motion 社製) を用いた腹腔鏡下手術の実際。写真は、一人法による腹腔鏡下胆嚢摘出術の風景

* 大阪大学医学部内視鏡外科講座

器具で、術者の声による指示で把持した内視鏡を動かす、音声認識型ロボットである(図1)。術前に術者の声質を記憶させておけば、術中は術者のヘッドオンマイクからの音声に反応して、上下、左右、前後の3自由度に対して反応する。この機械のメリットは、内視鏡操作を機械が代行してくれるため少ない人数で手術が施行できるというだけでなく、内視鏡手術において最も重要な術野の確保が術者の意のままにでき、しかも手ぶれなど術野の動揺がないことにある。

② master-slave 型ロボット

工業用ロボットの応用とマイクロ・マニピュレーターの開発にともなって、手術台の横に置いたコンソールから外科医が操作すると、手術台にセットされたロボットが指示に忠実に作動

図 2 Intuitive Surgical 社の手術支援ロボットを用いた手術風景

図 3 Intuitive Surgical 社の手術支援ロボットの外観

図 4 Intuitive Surgical 社の手術支援ロボットによる手術画像

し手術を進める、いわゆる master-slave 型ロボットが世界中で研究・開発されている。これらのうち米国 Intuitive Surgical 社の開発したロボットはいち早く製品化され臨床応用されている(図2, 3, 4)。残念ながらわが国には現時点では輸入されていないが、米国では心臓外科領域への応用がなされつつあるし、ベルギーではルーチンに腹腔鏡下手術に利用している施設もある。このタイプのロボットにおいては、直接患者臓器に接するロボットからの触覚情報をいかに術者にフィードバックするかがひとつの大きな問題点である。

2. バーチャル・リアリティー

コンピュータ・グラフィック (C. G.) の進歩により、人体臓器などが極めてリアルに再現可能となり、さらにはこれに手術操作などの外力を加えた状態もリアルタイムで C. G. により再現しうることになったことから、コンピュータ上で手術をシミュレートする試みが進んでいる。さらには、CT や超音波検査などのより低侵襲な検査のデータを合成することにより、気管支援や消化管内視鏡などの侵襲度の高い検査をシミュレートする方法などが開発され、実用段階に入っている。

① 仮想手術

従来、内視鏡手術に限らず、手術のトレーニングとしては、血管にみたてたゴム管を使って結紮の練習をすることに始まり、もう少し高度な模擬臓器を用いた剥離操作などの練習や、動物を用いた手術シミュレーションなどが行われてきた。近年こういったものに加え、コンピュ

(16) 医 器 学 Vol. 69, No. 6 (1999)

A : 鉗子操作部分

B : グラフィック画像

図 5 コンピュータ・グラフィックによる内視鏡
下手術トレーニング 図 6 コンピュータ・グラフィックによる人体
模擬画像を用いた仮想手術

ータ・グラフィック上でのトレーニングも可能となってきた。図5はわれわれが実際に使用している市販されている装置であるが、大きさの変化によって遠近感をつけたコンピュータ画面上で、球体などの物体を把握したり、持ち替えたりして内視鏡手術の基本操作に慣れるための装置である。このような簡単な装置のみならず、実際の臓器に近い画像を作り、より実際

の手術に近いトレーニングが可能な装置も開発されている(図6)。

② 仮想化内視鏡システム³⁾

ヘリカルCT技術の進歩により、CTスキャンで取り込んだデジタルデータを三次元に再構築して、病変部を立体的に把握することが容易に行えるようになってきた(図7, 8)。さらには、本年3月福岡市にて開催された第99回日本外科学会総会において紹介され、大きな反響を呼んだのが仮想化内視鏡システムである。開発者の鳥飼らによると、コンピュータ上に再現された三次元デジタル画像としての仮想化人体の内部を自由に動き回ることによって、人体の構造や形態を観察者の望む任意の位置、方向において観察することができる。これによって、より低侵襲な検査により、気管支鏡や消化管内視鏡などの侵襲度の高い検査を代用することが可能となる。

図 7 ヘリカルCTによる胃の内腔像。つらら状の突起はマーキング用のクリップ

図 8 ヘリカルCTによる肺病変の立体像

3. 遠隔手術

近年の通信技術のめざましい進歩によって、リアルタイムでの動画伝送を実現するための機器も各種開発され、比較的安価で供給されるようになってきた。この技術を医療に応用することによって、離れた地域からの幅広い専門的検討や教育的な応用が可能となるため、医療における技術的・経済的効果は非常に大きいものとなることが予想されている。外科領域においては、こういったシステムを応用することによって、より経験豊富な医師による助言や手術指導を受けたり (tele-mentoring)、逆に優れた外科医の手術を居ながらにして見学できる (tele-education) ことなど多くの効果が期待し得るのみならず、将来的には先述のロボット手術を含めた遠隔手術 (tele-surgery) につながって行くものと考えられる。とりわけ内視鏡下手術は、先に述べたように体腔内の模様をモニター画面に映し出し、術者、助手、看護婦などすべての関係者が同一画像を見て手術を施行する、われわれが言うところの“画術”であるため、外科手術領域のなかでも画像伝送の導入が容易である。また、内視鏡下手術は歴史の浅い領域であるために病院間での技術格差が大きい分野で、画像伝送システムの導入によりその効果も大きいと考えられ、われわれは1997年より実際にこれを応用している⁴⁻⁸⁾。

① 伝送方法

伝送方法としては、われわれの使用している ISDN 回線のほか、光ファイバーによるもの、専用線によるもの、インターネットを介するものなどが考えられる。しかし、インターネットでは患者の画像情報がリークする危険性があること、専用線ではコストが膨大になることなどより、NTT の提供する ISDN 回線 (INS 64) あるいは光ファイバー (INS 1500) のどちらかを利用するのが現状では实际的である。また、伝送速度が高速になれば伝送しうる情報量が増加するため、大量の情報をリアルタイムで扱う必要のある動画伝送においてはできるだけ高速回線を使用することが望ましい。しかし高速回線になればなるだけ設置のための初期費用はも

とより交信に要するランニングコストも膨大となる。実用的な観点からみれば、現状においては、内視鏡手術画像伝送のためには ISDN 回線を3本使用した 384 kbit/sec による通信が、最もコストパフォーマンスにおいてバランスのとれた方法であると考えられる。そこで現在われわれはこれに該当する機種 (図9) を導入し、遠隔手術支援に応用している (図10)。

図9 われわれの使用している ISDN 3 回線 (384 kbit/sec) を用いた遠隔手術支援用機器 (NTT 社製 Phoenix 2000 HX)

図10 遠隔手術支援の実風景

② 実際の運用

現在、われわれを含む近畿地区の5病院9科によって「近畿遠隔手術ネットワーク」を構成して、これら参加施設から毎週の内視鏡手術予定を報告していただき、これらを集計した週間スケジュール表を作成して配布している。この週間スケジュール表を見ることによって、各施設での手術予定を前もって把握できるため、個々に連絡を取り合ってネットワーク参加施設間での手術見学ができるとともに、必要に応じ

(18) 医器学 Vol. 69, No. 6 (1999)

て他施設の熟練医に手術支援を求めることも可能となった。

こういった地域での活動に加え、全国国立大学に整備中の大学間衛星通信システム (MINCS) を利用した多施設への中継、同じく衛星回線を用いた国際学会会場への中継、さらには国際 ISDN 回線を用いた海外との交信などを行っており、手術画像伝送のより広い応用の可能性を検討している。

4. 立体 (3D) 内視鏡システム

通常、内視鏡手術の画像は二次元画像であるため奥行きや前後関係の把握が困難で、手術遂行のためにはある程度の慣れと訓練が必要である。近年この問題を解決するために立体 (3D) 内視鏡システムが開発され臨床応用されている。

人間が物体の前後関係を判断できるのは、左右の眼が捉えた像の微妙な角度のずれを無意識のうちに感じるからである。脳がこれら二つの像を一つに合成することにより立体画像として感じ取ることが可能となる。この三次元の視覚

能力が深度や距離を認識して、容易に物体を操作することを可能としている。立体 (3D) 内視鏡システムとしてはいくつかの製品が発表されているが、いずれも左右の眼の内角を応用している (図 11)。すなわち、光学視管に二つのレンズを装着し、これを通して微妙な角度のずれをともなった二つの画像を同一画面に描出する。これを特殊な眼鏡 (図 12) を通して見ると、立体として認識できるようになるのである。この装置を用いると肉眼視に近い遠近感が得られるため、縫合操作などの複雑な手技において、安全かつ効率的な操作が可能となる。

また、通常内視鏡下手術ではテレビモニターを利用するが、小型液晶モニターを応用したいわゆる head-mount display もしくはさらに小型の face-mount display も臨床応用されている。図 13 は単一モニターによる二次元画像を再生する家庭用機器の応用例であるが、3D システム用のものも開発されている。これによりテ

図 11 立体 (3D) 内視鏡システムの原理 (オリンパス社提供)

図 12 立体 (3D) 内視鏡システム用の眼鏡と光学視管 (オリンパス社提供)

図 13 Face-mount display (オリンパス社提供) を使用した手術風景

レビモニターの位置に関係なく術者は正面を向いて手術できるほか、手術によっては2台用意されるテレビモニターを1台で行えるという利点がある。

ま と め

以上、実際に臨床応用されているものや実験段階であるものを含めつつ、最新コンピュータ技術を応用した内視鏡手術関連器材について概説した。今後ますます医療分野にコンピュータ技術が応用・導入されてゆくことによって、より低侵襲で適切な診断・治療につながっていくことが期待される。

文 献

- 1) DiGioia AM et al: Computer-Aided Surgery, In Satava RM eds. Cybersurgery – Advanced Technologies for Surgical Practice-. New York: Wiley-Liss, Inc., 121–139, 1998.
- 2) Satava RM et al: Telepresence Surgery. In Satava RM eds. Cybersurgery – Advanced

医器学 Vol. 69, No. 6 (1999) (19)

- Technologies for Surgical Practice-. New York: Wiley-Liss, Inc., 141–154, 1998.
- 3) 鳥脇純一郎: 仮想内視鏡システム. 外科 61(3): 257–263, 1999.
 - 4) 大橋秀一, 谷口英治, 瀧口修司: 内視鏡下手術における遠隔手術指導 (tele-mentoring) を目指した画像伝送システムの構築, 日外会誌 99: 612, 1998.
 - 5) 谷口英治, 瀧口修司, 大橋秀一: 内視鏡外科領域における画像伝送の応用. 第一回 Tele-Surgery 研究会抄録集, p. 29–31, 1998.
 - 6) 谷口英治, 瀧口修司, 大橋秀一: 外科領域における遠隔手術支援, 第3回遠隔医療研究会研究論文集, p. 31–34, 1999.
 - 7) Okada T, Taniguchi E, Matsumura Y, et al: Construction of telementoring system for endoscopic surgery using TV conference system. 医療情報学 18: 265–268, 1998.
 - 8) Okada T, Taniguchi E, Matsumura Y, et al: The remote support system for endoscopic surgery using TV conference system. Proceedings of CAR '98, p. 468–471, 1998.