

# 低侵襲外科手術の現状と問題点

## Current problems and its solutions in minimally invasive surgery

はし もと だい しょう  
橋 本 大 定  
Daijyo HASHIMOTO

### はじめに

内視鏡下手術は、腹壁に小さな数個の穴を開け、腹腔に挿入した細径内視鏡の映像をモニターテレビで観察しながら、長くて細い特殊な器具（鉗子や電気メスなど）を用いて行う手術である。従来の開腹手術と異なり、体壁を大きく切り開かずすみ、腹腔内の臓器を手術室の冷たい乾燥した空気に長時間晒さないなどの大きな利点がある。このため、術後の疼痛がほとんどなく、術後の快復や社会復帰が極めて早く、美容的観点からも著しく優れているなど、多くの特長を有している。

この低侵襲内視鏡下手術は、当初、複雑な手術操作の比較的少ない腹腔鏡下胆嚢摘出術として開発され本邦に導入されたが、この10年で急速に普及し、1990年には、10%程であった内視鏡下の胆嚢摘出術は、2001年には80%を超えている。また、その適用範囲も、腹部外科領域の胃・大腸・脾臓などだけでなく、呼吸器外科、乳腺・甲状腺外科、心臓血管外科、産婦人科、泌尿器科、整形外科、形成外科等にも及んでいる。

しかし、内視鏡下の低侵襲手術には、従来の大開腹手術と比べ、“間接視下”、“遠隔操作”、“限定された操作空間”、といった克服すべき重大な問題点があり、それらの制約に起因する内視鏡下手術に特異な合併症や死亡例が発生し、社会問題とすらなっている。ここ10年、上にあげた問題点も順次着実に改善をみてはいるが、未だ十分とはいえない。以下に、この10年の進歩を踏まえつつ、現状と問題点を論じてみたい(図1)。<sup>1~4)</sup>

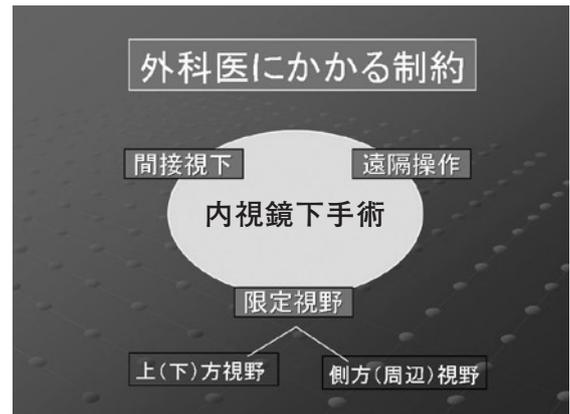


図1 外科医にかかる制約

### I. 間接視下

低侵襲内視鏡下手術は、従来の大開腹手術と異なり、すべての手術操作は、トロカールを経て腹腔内に挿入された内視鏡によりモニターテレビに映し出された画像を見ながら行われる。そのため、開腹手術に比べ手術視野は格段に狭く、内視鏡の向きと目線や操作線が異なっているなど、外科医にとって困難な点が多い。しかし、一方で、内視鏡は超近接下の拡大観察が可能で、裸眼では観察できない微細な組織構造も確認することができるという利点もある。

#### 1. 画質の向上

本邦は、内視鏡の開発に関しては世界の最先端をいっている。近年における内視鏡画質の向上には刮目すべきものがあり、当初、27万画素1CCDで始まった内視鏡は、その後、41万画素3CCDとなり、最近では、超軽量小型高画質の4CCDハイデフイニションカメラすら実用化されている。

## 2. カメラの操作性向上

内視鏡下手術の1つの問題点として、術者とカメラマンとが別人である点がある。われわれが共同で開発を進めた内視鏡マニピュレータ (Laparo navigator) は、カメラが術者自身で運転操作され、望む画像が適宜提示される点で、別人格であったカメラマンと術者が一体化する点に本質的な意義がある。当初、応答作動速度やマンマシンインタフェースなど解決すべき問題も多かったが、着実に克服され、やっと、商品化された (図2)。<sup>5)</sup>

もう1つの問題点として、内視鏡で観察される空間が極めて限定されているという点がある。トロカールサイトは、術者と手術目的臓器との相対的位置関係によって設定されるので、トロカールサイトから挿入された鉗子先端部が内視鏡の視野空間に現れるまでの間は、鉗子が見えていないのであるから、不測の損傷が起こり得る。この問題点を回避するためには、逐次内視鏡を動かして鉗子先端部を追いかければよいわけであるが、その都度手術視野を設定しなおすことになるので、術者やカメラマンに過度の負担を負わせることになってしまう。

つまり、手術操作は適度に近接した画像が望ましい一方で、鉗子挿入に伴う不測の臓器損傷を避けるためには、腹腔内を広く観察して手術操作全体を監視することが望ましい。NEDOが主導する高機能内視鏡開発プロジェクトでは、1つの画面で120度の遠隔観察画像を提示すると同時に、別の画面で、その範囲の中の任意の方向の近接画像を、内視鏡を一切動かすことなく提示できる機器が開発されてい

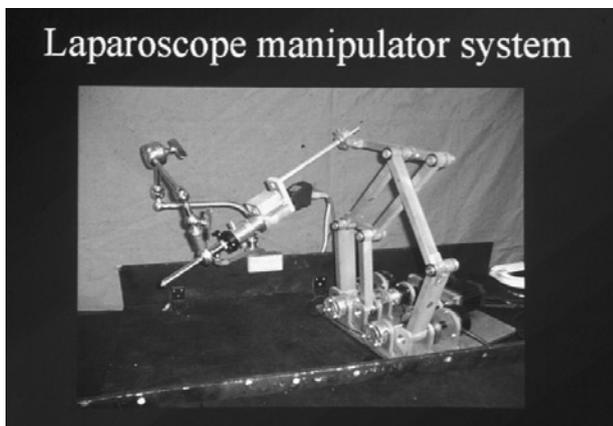


図2 Laparoscope manipulator system  
(東京大学工学部 土肥健純提供)  
(E-mail: takdohi@i.u-tokyo.ac.jp)

る (図3)。

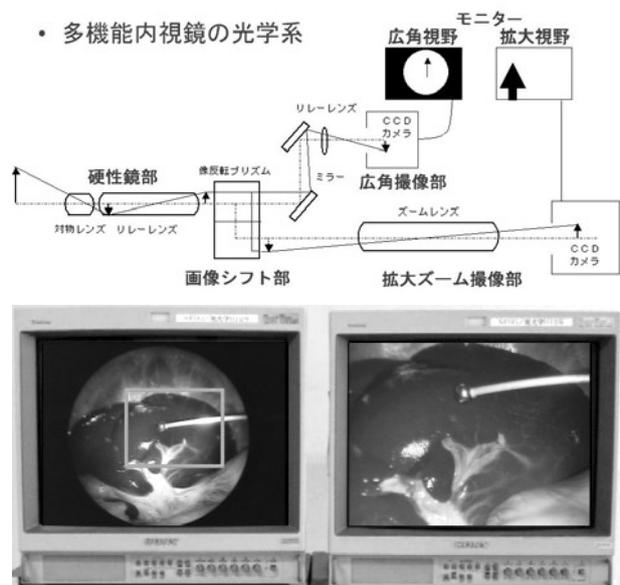
## 3. 結露の防止

内視鏡下の手術では、腹腔内は、湿度ほぼ100%、温度37～38℃に保たれる。一方、手術室の湿度は30～50%、温度は18～24℃程度なので、当然のことながら、抜去のたびに、室温で冷やされた内視鏡の光学視管を腹腔に挿入する際、結露が発生し画像が白濁して観察不能となる。この先端レンズの結露現象は長く解決できないできたが、われわれが独自に開発した、照明系の熱エネルギーの一部をレンズの保温に活用する、フォグレススコープの出現で完全に解決を見た (図4)。<sup>6)</sup>

カメラでは、細径化に伴い結露や画質の低下が著しくなるが、本邦では、先に述べたフォグレス機構を組み込み、かなり良好な画質を有し、かつ結露のない直径2.7mmの優れた細径内視鏡 (Thin fogless scope) が開発されている。

## 4. 三次元内視鏡

頻用されている二次元内視鏡の間接視と、人の両眼による直接視との本質的な違いに、三次元視の問題がある。三次元視は、当初のサーベル型2眼2カメラ式三次元内視鏡を皮切りに、2眼1カメラ方式、



監視のための遠隔視と操作のための近接視とが同時に表示される

図3 NEDO「内視鏡等による低侵襲高度手術支援システムの開発」

(ペンタックス (株) 提供)  
(E-mail: t.sekiya@aoc.pentax.co.jp)

1眼2カメラ方式, 1眼1カメラ方式と数世代にわたって改良が続けられて今日に至っている(図5)。

内視鏡下手術は単に観察にとどまらず, 縫合や吻合といった微妙な操作を必要とするため, 奥行き感のわかる三次元視の優位性は歴然としている。しかし, 三次元内視鏡の固定視差に伴う近接二重視や三次元視脳疲労ともいべき眼精疲労の問題などいま

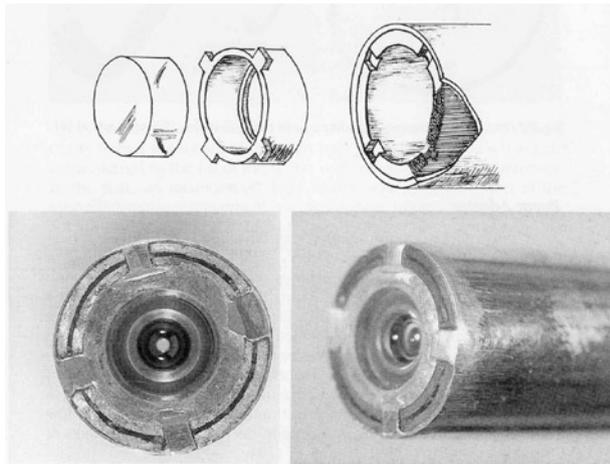


図4 フォグレスコープの原理

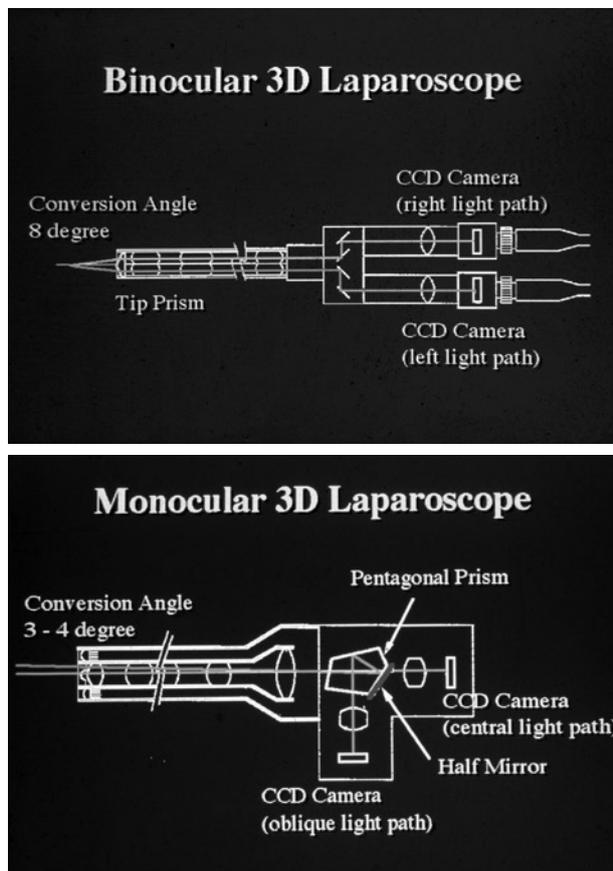


図5 三次元内視鏡  
(新興光器製作所提供)

一步解決すべき問題が残っている。<sup>7)</sup>

そのため, 外科医は, 自分の経験や解剖知識, 鉗子による触覚をたよりに, 二次元のモニターテレビから三次元画像を再構成しつつ手術しているのが現状である。

## 5. ロボットとの共同作業

また, 心臓の内視鏡下手術で, 高速カメラを用いて心臓の動きを止まっているように見せ, 一方で, その動きに合わせてロボットハンドにより縫合作業を行うというようなユニークな研究も続けられている(図6)。<sup>8)</sup>

## II. 遠隔操作

開腹手術下では, 両手指を腹腔内に持ち込み, 任意の方向から鉗子やハサミを自在に操作してスムーズな手術を遂行することができる。しかも, 持ち込める鉗子やハサミの大きさや形状の制約が一切ない。一方, 内視鏡下手術では, 鉗子の挿入部位がトロカールにより固定されており, かつそのサイズも通常直径5~10mmに制約されている。つまり, 内視鏡下手術では, 腹壁外では手や指を自由に操れるものの, それで操れる鉗子先端部の機能は, 高度の制約を受けた遠隔操作となるわけである。

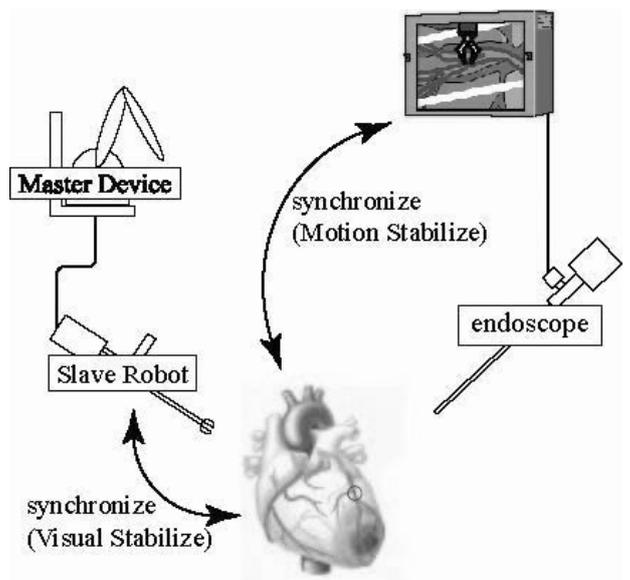


図6 心臓の拍動を静止して観察できる表示システム  
(東京大学工学部 中村仁彦教授提供)

## 1. オジギ機構を用いた機器

われわれは、腹腔内で先端が自在に屈曲する機構がこの手術において本質的に重要であることにいち早く気づき、過去10年間、この制約を克服すべく、オリジナルな遠隔操作用の各種鉗子類を開発してきた。鈍的な剥離を安全に遂行できるヘラ状のオジギ鉗子をはじめとして、オジギ結紮鉗子やミツアナ結紮鉗子、回転オジギウチワ、さらにその機能の延長線上にオジギ電気メス、腹腔鏡下オジギ超音波装置やオジギレーザー等の開発により、手術の安全性や迅速性確実性に格段の向上が得られた(図7)。<sup>9)</sup>

## 2. 便利な自動機器

欧米では、回転式クリップ、スネイクリトラクター、自動針糸器、自動縫合器、自動吻合器などが開発されている。個々の複雑な遠隔操作に伴い、外科医に高度の負担を強いる内視鏡下手術では、これらの器具を用いると迅速確実に複雑な操作が遂行できるため、広く普及をみている。殊に、気腹下の内視鏡下手術では、トロカールやクリップ、鉗子、吸引洗浄にいたるまで、ほとんどすべての器具類は欧米式のディスポ製品で占拠されてしまっており、“輸入外科”と言ってもよいような状況を呈している。

ダビンチやゼウスと名付けられた内視鏡下手術用ロボットも欧米で開発されたもので、遠隔操作で結構人間の手指の動きに近い動きをスムーズに行うことができるが高く評価されているが、あまりにも高額な点が問題である。

そろそろ本邦発の機器開発が必要なのではなかろうか。<sup>10)</sup>

私も開発委員を務めているNEDOのプロジェクトでは、欧米式の手術室をすべて占拠するような内視鏡用ロボットではなく、術者と共生し、術者自身が手に持つ鉗子の先端機能の高度化により、従来の

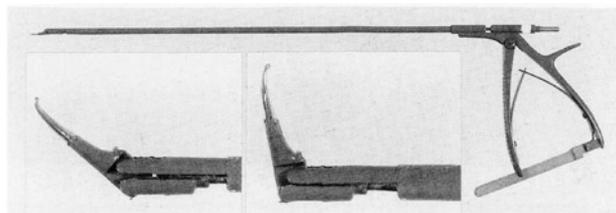


図7 Ojigi Electrocautery

鉗子でできなかった作業や、困難な操作を迅速かつ容易に遂行できる鉗子の研究開発が地道に積み重ねられている(図8)。

## 3. 細径化

さらなる鉗子、カメラの細径化は、低侵襲性や美容性の向上と直結している。しかし、細径化は必然的に機能の低下を伴うので、手術の安全性や確実性を確保しつつ、それをいかに克服するかが問題となる。

鉗子では、直径2~3mm細径鉗子が各種開発されているが、先端の把持力の低下や、シャフト部分の強度の低下、さらには耐久性の問題などがあり、広く普及するには至っていない。機械的なアプローチだけでこの問題を解決するにはおのずから限界があり、今後、形状記憶合金や磁場などの応用など、幅広い工学的アプローチを組み合わせた研究開発が望まれる。

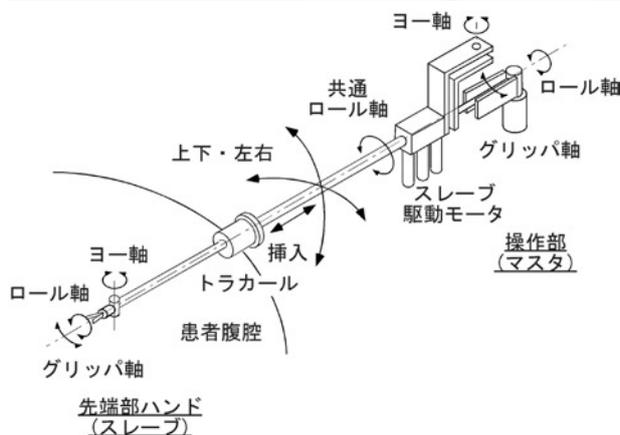
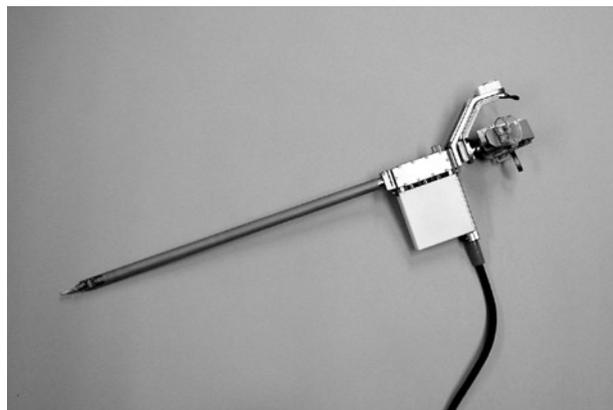


図8 NEDO「内視鏡等による低侵襲高度手術支援システムの開発」

(東芝(株)提供)

(E-mail:makoto.jinno@toshiba.co.jp)

#### 4. 触覚機能

遠隔操作となる内視鏡下手術のもう1つの問題点として、開腹手術では、手指の鋭敏な触覚を生かした操作が自在に遂行できるのに対して、内視鏡下手術では、それが困難な点があげられる。今後、遠隔操作の制約を克服する次なる開発の目標は、先端の有効な屈曲把持機構を持ち、かつ、指先に対応する触覚機能を持つ鉗子であろう。

### Ⅲ. 限定された操作空間

内視鏡下手術の問題点として、限定された操作空間がある。

本来、腹壁を裏打ちしている腹膜は、一続きの閉鎖膜として後腹膜側に存在するすべての臓器の表面を覆いつくしている。前方の腹膜（壁側腹膜）と後方の腹膜（臓側腹膜）との間には、わずかのリンパ液がいわば“潤滑油”として存在するだけで、通常、隙間は存在していない。

腹腔内で内部臓器を観察し、手術操作を加えるためには、まず、前方の壁側腹膜と後方の臓側腹膜との間に空間を作成する必要がある。

#### 1. 気腹法

当初欧米で開発された内視鏡下手術は、ちょうどゴム毬を膨らませるように、針を近接した上下の腹膜間に刺入して腹腔に気体を注入し、腹壁を前方に挙上する一方で、腸管などの臓器はすべて後方（後腹膜側）に圧排して手術に必要な空間を作成する気腹法として始まった。

気腹法によれば、手術視野は圧に比例して良好となるが、良好な視野を得ようとすればするほど、患者は、腹腔内が異常な高圧に長時間晒されることに起因する各種合併症（高炭酸ガス血症、無気肺、横隔膜過伸展の関連通、下肢静脈血栓症、不整脈、ショック、ガス塞栓、縦隔気腫、皮下気腫など）の危険に晒されることとなる。

また、円滑な手術操作を遂行するためには、必要な操作空間を維持しつづける必要があり、鉗子操作や吸引に伴い漏れる気体をその都度補うために腹腔に気体を注入しつづけなければならない。そのため、思いがけない大量出血などの場合には視野の確

保が難しく、手術の続行が難しくなるなどの問題点がある。

#### 2. 吊り上げ法

1990年代の当初、本邦で、いち早く気腹法の持つ危険性が認識され、気腹法に代わる手術空間確保法（腹壁吊り上げ法）の開発が取り組まれてきた意義は大きい。

腹壁吊り上げ法では、吊り上げられて最初陰圧となる腹腔に、トロカールを通じて手術室内の空気が流入し、その後、すべての手術操作が平圧下で遂行されることになる。したがって、気腹法で見られる高圧に起因する合併症が原理的に皆無となる（図9-A）。

内視鏡下手術が本邦に導入されて10年を経た今日、数々の犠牲者を出しながらも、未だに腹部内視鏡下手術において気腹法の占める割合は90%を超えており、吊り上げ法手術は内視鏡下手術の大勢を占めるには至っていない。その理由は、空気を正しく注入し腹腔内圧を上げさえすれば後腹膜臓器を圧して広い手術空間を形成することができ、吊り上げ用機器と鉗子がぶつかり合うこともない、気腹法の簡便さに捨て難い点があるためであろう。

患者にとって安全な吊り上げ法も、各種制約の多い手術を遂行する術者の立場からみると、腹壁をうまく吊り上げないことには気腹法と同じくらいの十分な視野が得られないという問題があった。また、気腹法手術では存在しない吊り上げ用器具と手術用鉗子類との衝突をどのように回避するかという問題や、後腹膜臓器を異常な気圧で圧排しない分だけ不利となる視野を術式の工夫でどう克服できるのかと



図9-A 吊り上げ法手術

2本のワイヤーで囲まれた面を垂直に挙上して、手術用腹腔内空間を作成する。

いう難点もあったと推察される。

吊り上げ法には、良好な視野を確保しづらかったり、吊り上げ用機器と鉗子がぶつかる方式もあり、これが吊り上げ法の普及を阻害してきたことも否めない。われわれは、これらの吊り上げ法の持つ弱点を克服するため、皮下鋼線腹壁吊り上げ法の改良改善を着実に進め、気腹法以上に良好な視野のもと、衝突のない手術が実現している。その結果、胆嚢摘出に関しては、気腹法では極めて困難となる超肥満体や開腹手術既往症例、急性胆嚢炎に伴う高度癒着症例もすべて、一切気腹を用いることなく吊り上げ法で安全に遂行できるようになっている(図9-B)。

気腹法における後腹膜側の圧排や良好な視野は、腹腔内高圧という患者の危険性と表裏の関係にあるのであるが、重篤な合併症を自ら経験するまで、その簡便性に安住する外科医が多いのは嘆かわしい。新しい手術に取り組む若い外科医には、単に手術手技の習得のみに目を奪われることなく、患者に対する安全を第一に考えて、各種改良改善に取り組みつづける謙虚で前向きな姿勢が望まれる。また、患者もそれぞれの術式の持つ得失をよく勉強して、選択する必要がある。

#### IV. ミニラパ手術

ミニラパ手術は、腹壁の切開創のサイズを5~7 cm程度と可能な限り小さくして、低侵襲手術を目指すものである。

内視鏡下手術では、術者に種々の高度な制約がかかりつづける結果、今日でも従来の大開腹手術では

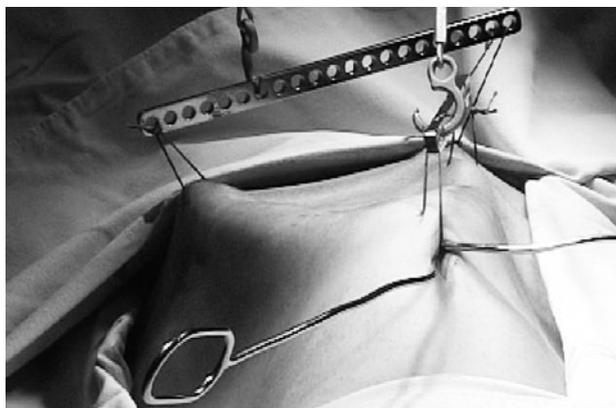


図9-B 吊り上げ法手術

吊り上げ法手術の改良改善により、気腹法では困難な手術が安全に遂行できるようになった。

起こり得ないような合併症が発生し、中には不幸な転帰をとるケースも存在する中で、ミニラパ手術の価値が再評価されている。

腹壁を切開することなく、間接視下の遠隔操作で遂行するという本来の内視鏡下手術からみると、ミニラパ手術は邪道または退歩といわれる面もあろう。しかし、間接視下の遠隔操作を強いられる内視鏡下手術のストレスが外科医にとっていかに大きいかを考え、かつ、複雑な手術では、内視鏡下手術だけでは十数時間に及んでしまい、手術が患者にとってかなりの侵襲になってしまうという中で、両者の安全を守るためにはある程度の妥協はやむを得ない面がある。

現状のミニラパ手術と称されるものの中には、内視鏡の助けを一切借りないで、ミニラパ創を経由して少々長めの鉗子で従来の大開腹手術と同質の手術を直視下で遂行するものから、腹腔内に手を入れられる程度の切開創で手術を遂行するものや、手の入らない程度の少々太めのトロカールサイトを設定して内視鏡補助下に手術を遂行しようというもので、多岐にわたっている。

実際、必要とされるミニラパ創のサイズは、患者の肥満度、目的とする手術の根治度、あるいは患者によって異なる病変の進行度や、腹腔内癒着度、さらには、その施設の技術度や使用できる機材の程度によって異なるのはやむを得ない面がある。

ここでは、HALSと、当施設で創案したスライディングウインドウ(Sliding window)手術について述べる。

##### 1. HALS

HALS(Hand Assisted Laparoscopic Surgery)とは、術者が一方の手を腹腔内に挿入し、残り一方の手で細径鉗子を操って行う内視鏡下手術を指している。腹腔内には肘近くまで腕を挿入することができ、臓器の牽引や局所の視野作り、あるいは内視鏡下手術で欠落していた触覚を生かした手術すら一気に可能となる。また、突然の思いがけない出血などの合併症の発生の際にも、手指による圧迫操作が可能となり、気腹法による内視鏡下手術の危険性が格段に改善された。

HALSと気腹法との組み合わせでは、個々でサイズの異なる術者の腕の周囲から気体が漏れるのを防

ぐと同時に、手を抜去したときにも気密性を保持できる器具が本邦で開発されている。

われわれの施設では、腕の挿入できるミニラパと腹壁吊り上げ法と組み合わせて、各種の安全な内視鏡下手術を遂行している。<sup>11,12)</sup>

## 2. Sliding Window 手術

胃や大腸の気腹法下の内視鏡下手術では、気密性を保たなくてはならないために、手術の最後の段階で5cm程腹壁を切開し、臓器を取り出す作業が行われる。われわれは、その小切開創(window)を手術の最初の段階に設け、これを最大限利用して複雑な手術操作を安全に行う方法を考案し、これをSliding Window手術と名付けた。<sup>13,14)</sup>

吊り上げ法では、麻酔で十分に筋弛緩した腹壁が垂直に挙上(移動)されるのに対応し、Sliding Window手術では、Windowを水平面で頭尾側、あるいは左側右側にそれぞれ7cm程度牽引移動させることができる。その都度、直視下の観察のみならず、迅速な直視下操作が開腹手術と同様に遂行できる。直接視野が及ばない領域は、適宜斜め方向の牽引や腹壁の吊り上げ挙上による内視鏡補助下の操作により、開腹手術と内視鏡下手術の利点を組み合わせた手術が実現するのである。

早期癌の内視鏡下手術で、1群のリンパ節(病変部近傍の転移リンパ節)を郭清し局所の胃壁全層切除を行う手術や大腸の内視鏡下手術では、腹腔の広い範囲にわたって手術操作を加える必要がある。その際、Sliding Window法によりWindowを上下左右あるいは斜め方向に牽引移動させ、直視下操作

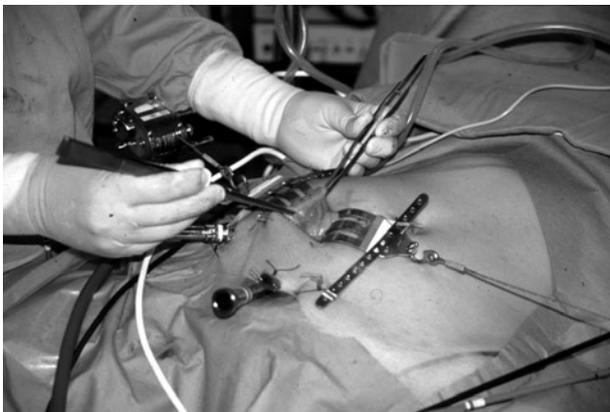


図10 Sliding Window 手術  
小切開創を水平面で左右上下に適宜牽引して手術する方法。

を駆使し、内視鏡下手術の制約を最小限にすることで、安全確実かつ迅速な手術が実現している(図10)。

## おわりに

低侵襲内視鏡下手術は、間接視下の遠隔操作というハンディキャップを外科医に強いているため、従来の開腹手術では思いもよらないような術中合併症が発生する危険のある、外科医にとって難しい手術である。それにもかかわらず、低侵襲に対する患者の期待が大きいだけに、それが裏切られたときの失望や怒りが大きいことを術者は自覚すべきである。一度重篤な合併症が発生したり、死亡に至るようなケースとなってしまうと、外科医自身の社会的存在も危険に晒されることは厳しい現実である。この低侵襲手術に従事する外科医は、常に合併症をゼロとする覚悟で臨む義務がある。

## 文 献

- 1) 橋本大定：腹壁吊り上げ法による腹腔鏡下胆嚢摘出術。南山堂，1994。
- 2) Hashimoto D.: Advanced Techniques in Gasless Laparoscopic Surgery. World Scientific Publishing, 1995.
- 3) 橋本大定：最近の外科手術とME技術 内視鏡外科。Clinical Engineering, 150-158, 1998年2月号。
- 4) 橋本大定：内視鏡下手術の制約を取り除く機器開発。新医療, 107-109, 1998年3月号。
- 5) E.Kobayashi, K.Masamune, T.Dohi, D.Hashimoto: A Newly Laparoscope Manipulator with an Optical Zoom Lecture Notes in Computer Science.Proc.of.MICCAI98, Boston, 215-222, 1998.
- 6) D.Hashimoto, M.Shouji: Development of a fogless scope and its analysis using infrared radiation pyrometer. Surgical Endoscopy 11: 895-808, 1997.
- 7) D. Hashimoto: The Development of Fatigueless Monocular 3-D Camera for Endoscopic Surgery Proceedings of CAR' 97 11th International Symposium and Exhibition. 1037, 1997.
- 8) 岸広亮, 中村仁彦, 川上洋生: 低侵襲心臓外科手術を支援する高速カメラを用いた臓器補償型手術ロボットシステム, 第8回日本コンピュータ外科学会大会論文集, 115-116, 1999.
- 9) D.Hashimoto: Development of Ojigi electrocautery and other Ojigi instruments. Min Invas Ther & Allied Technol. (6) 287-290, 1997.
- 10) 菅和俊, 河合俊和, 西澤幸司, 田島不二夫, 藤江政克, 高倉公明, 伊関洋, 小林茂昭, 奥寺敬, 土肥健純: 脳外科手術用 HUMAN マニピュレータシステム試

- 作機の操作実験. 第8回日本コンピュータ外科学会大会論文集, 105-106, 1999.
- 11) H. Ishida, D. Hashimoto, S. Inokuma, H. Nakada, T. Ohsawa, T. Hoshino: Gasless laparoscopic surgery for ulcerative colitis and familial adenomatous polyposis. *Surgical Endoscopy* 17: 899-902, 2003.
  - 12) 石田秀行, 横山勝, 竹内幾也, 中田博, 猪熊滋久, 星野高伸, 村田宣夫, 橋本大定: 大腸疾患に対する小切開手術の意義(基礎と臨床) 第4回侵襲と生体反応研究会, *Therapeutic Research* 24(8): 1546-1550, 2003.
  - 13) 橋本大定: 鏡補助下胃切除—Sliding Window法による鏡視下切除—癌の臨床. 篠原出版. 387-394 第45巻第5号 1999.
  - 14) H. Ishida, D. Hashimoto, H. Nakada et al.: Minilaparotomy approach for colonic cancer: Initial experience of 54 cases. *Surgical Endoscopy* (in press).