

光ピンセット操作における反力提示システムの開発*

箕輪 弘嗣[†]・中尾 恵[†]・佐藤 哲大[†]・杉浦 忠男[†]・湊 小太郎[†]

Development of an Interface for Displaying Force Feedback in Optical Tweezer*

Hirotsugu MINOWA[†], Megumi NAKAO[†], Testuo SATO[†], Tadao SUGIURA[†] and Kotaro MINATO[†]

1. はじめに

光ピンセットは、光の放射圧を用いてサブミクロンの対象物を捕捉することができる技術である。1986年にAshkin[1]により初めて提案された手法で、顕微鏡下で3次元的に対象物を非接触・低侵襲に操作することができる。近年ではバイオチン-ストレプトアビジンの分子間力やDNAの弾性を測定するといった1分子操作[2,3]に応用されるようになってきている。

従来の光ピンセットでは、ミクロな世界で発生した力を操作者が知覚することができず、視覚情報のみから判断して操作しなければならないので、対象物の捕捉に失敗したり、誤って傷つけたりすることがある。そのため、光ピンセットの操作にはある程度の経験と技術が必要になる。

本研究では、光ピンセット操作性向上を目的として、顕微鏡下で発生した力を、物理モデルと画像処理によって算出し、それに比例した反力をフォースフィードバックデバイス(FFD)を用いて提示するシステムを開発した。反力提示による操作性の向上は、医療の訓練や遠隔操作においてその有用性が認められている[4-6]。

2. 光ピンセット操作における反力

一般に、光ピンセットが粒子に及ぼす力は微小でpN程度である。粒子は光ピンセットのレーザ焦点で捕捉された状態となるが、この捕捉力は光ピンセットの影響範囲内ではレーザ焦点からの距離に比例し、次式のように表すことができる。

$$\begin{cases} F = k\Delta x \\ \Delta x = (x - x') \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 F は光ピンセットの捕捉力、 k はバネ定数を示す。 x はレーザの焦点座標、 x' は粒子の重心座標である。Fig.1に示すように、光ピンセットではレーザ焦点と粒子の重心がバネでつながれているのと等価な力が発生する。

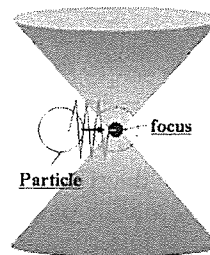


Fig. 1 Principle of optical tweezer

(1)式に基づいて F を算出するためには、 k を定めるとともに、レーザの焦点座標 x と粒子の重心座標 x' の算出が必要になる。

3. システムの概要

3.1 システムの構成

システムの概要をFig.2に示す。反力を提示するデバイスにはSensAble Technologies社製のPhantom Desktopを使用した。Phantom Desktopは3次元6軸方向に操作でき、最大6.4[N]の力を提示することができるFFDである。このFFDからPCへ送信された座標は、DA変換ボードでガルバノミラーを操作する電圧に変換され、レーザの焦点を移動させる。

光ピンセット光学系をFig.2の左上に示す。光ピンセットのレーザはガルバノミラーによって角度を変えながら、顕微鏡の中を通過し、対物レンズによって集光され、焦点で捕捉力を発生する。このミクロな世界の映像は毎秒30フレームで顕微鏡から取得され、画像処理によって粒子の重心座標を得る。画像処理の結果はモニタに表示し、算出した反力をFFDに送信する。光ピンセットのレーザにはSpectra-Physics社のNd-YAGレーザ(1064[nm])を使用した。焦点の直径は1[μm]である。顕微鏡の対物

* 原稿受付 2005年6月27日

[†] 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology; 8916-5 Takayama-cho, Ikoma city, Nara 630-0192, JAPAN

Key Words: optical tweezer, haptic device, force feedback, interface, force measurement.

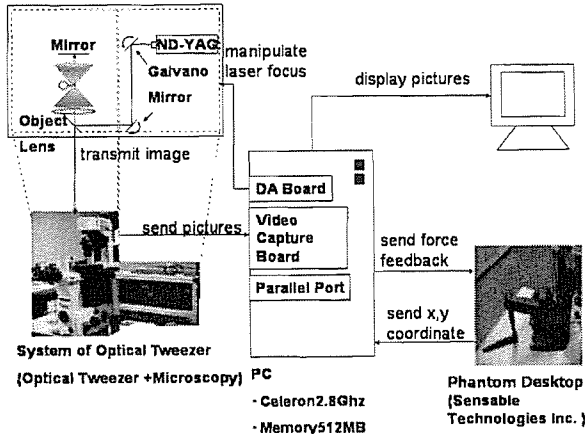


Fig. 2 System outline

レンズは60倍の水浸レンズを使用した。

3.2 画像処理による重心座標算出

顕微鏡から得られた映像を1フレームずつ背景とのコントラストがよくなるように適当な閾値で2値化する(Fig. 3)。つぎに画像を走査し、領域をラベリングする。それぞれの領域の円形度 B を以下の式から求めた [7]。

$$B = (4\pi \times S) / (2\pi r)^2 \quad (2)$$

ここで、 S は領域の面積、 r は半径を示す。 B が0.9以上で、かつ、レーザ焦点座標に最も近い領域を粒子とみなして、その重心を算出した(Fig. 4) [8]。粒子の重心算出に要した時間は $180 \times 120[\text{pixels}]$ の画像に対して $15 \sim 22[\text{ms}]$ であり、実時間でその軌跡を追跡できている。

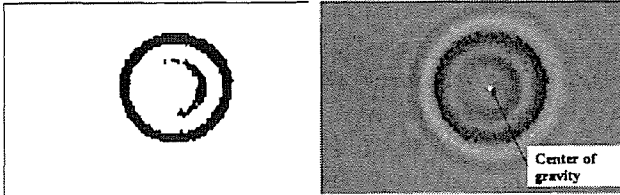


Fig. 3 Binalization

Fig. 4 The center of gravity

4. 評価実験

4.1 粘性抵抗力和反力提示

一般に液体媒質中の粒子に働く力は次式となる。

$$F = ma + D + f_{ex} \quad (3)$$

ここに、 m は粒子の質量、 a は粒子の加速度、 D は捕捉された粒子が媒質中を移動するときの粘性抵抗、 f_{ex} は粒子に働く外力を表している。 ma は粘性抵抗の大きさに比べて 10^{-6} 以下であり、また、媒質の流れや障害物がない状態では、外力 f_{ex} も無視できる。したがって F は粘性抵抗 D にほぼ等しいとみなすことができる [9]。

微小球体粒子に対する粘性抵抗 D はストークスの式 [10] より次式のように示される。

$$D = 6\pi\eta rv \quad (4)$$

ここで η は媒質の粘性抵抗率 (水の粘性抵抗率は $1.002 \times 10^{-3} [\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2]$)、 r は粒子の半径、 v は速度を示す。 $\pi\eta r$ は定数であるので、粘性抵抗 D は速度 v に比例する。

一方、光ピンセットで発生する力は (1) 式に従い、レーザの焦点座標と粒子の重心座標との距離の差から算出した捕捉力に比例する。したがって、粘性抵抗が既知であれば、次式で k を定めることができる。

$$k\Delta x = 6\pi\eta rv \quad (5)$$

(5) 式を検証するために、評価実験では、 v と Δx の線形性を確認し、定数 k を求めた。

4.2 実験内容

水の媒質に直径 $3[\mu\text{m}]$ のポリスチレン粒子を浸したものを二枚のスライドガラスではさみ、周りを接着してサンプルとして用いた。レーザの焦点座標を等速移動させ、その速度と、レーザ焦点と粒子重心間距離の関係を調べた。粒子の軌跡は、3.2 節で述べた方法で算出した。

実験方法は、X 軸方向に $0.4, 4, 8, 20[\mu\text{m}/\text{s}]$ 、Y 軸方向に $0.27, 2.66, 5.32, 13.3[\mu\text{m}/\text{s}]$ の速度でそれぞれレーザ焦点の等速直線運動を行い、粒子の軌跡を測定した。実験においては、ガルバノミラーの特性によるレーザ焦点座標の補正を実施した。

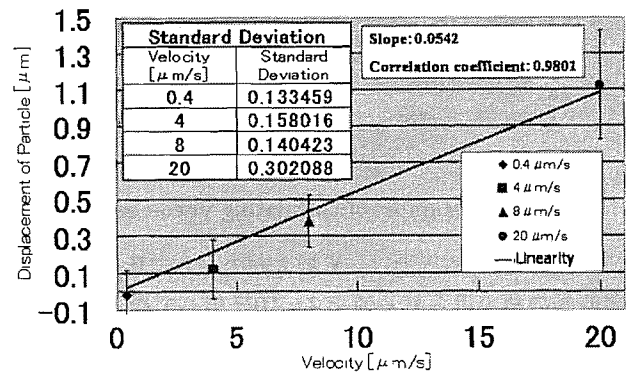


Fig. 5 The relation between velocity and distance(X axis)

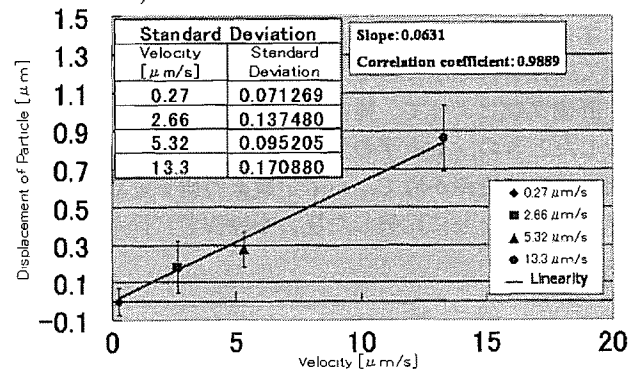


Fig. 6 The relation between velocity and distance(Y axis)

4.3 結果と考察

Fig. 5はX軸方向に、Fig. 6はY軸方向に上述の速度でそれぞれレーザの焦点座標を移動させたときの速度と焦点重心間距離の関係を示している。Fig. 5とFig. 6から、速度と焦点重心間距離の関係を示す回帰直線の相関係数はX軸方向は0.9801、Y軸方向は0.9889であった。これは、粒子の速度と焦点重心間距離の間に高い線形性があることを示している。また、それぞれの回帰直線の傾きを算出したところ、X軸方向は0.0542、Y軸方向は0.0631であった。

焦点重心間距離の標準偏差はX軸方向、Y軸方向はともに $\pm 0.3[\mu\text{m}]$ 内に収まっていた。この誤差は捕捉した粒子のブラウン運動に起因していると考えられる。

つぎに、粘性抵抗力和焦点重心間距離の関係から、 k の値を算出した。X軸方向は $522[\text{nN/m}]$ 、Y軸方向は $449[\text{nN/m}]$ であった。

一例として、レーザの焦点を $20\mu\text{m/s}$ (X軸方向)で往復運動させたとき、捕捉粒子にかかる粘性抵抗力を算出した結果をFig. 7に示す。

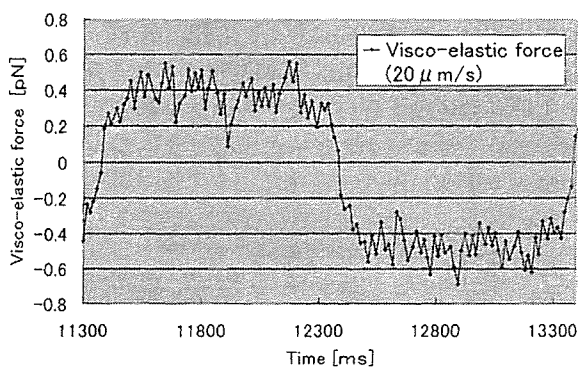


Fig. 7 The example of calculating visco-elastic force

FFDにおける反力は、X軸方向のバネ定数と焦点重心間距離の積で得られる値を 2×10^{12} 倍して提示した。たとえば光ピンセットで発生する力が $0.5[\text{pN}]$ の場合、操作者の手元には $1[\text{N}]$ の反力が感じられる。

5. おわりに

本研究では、光ピンセットで発生した力をFFDを用いて操作者に提示できるシステムを開発した。

評価実験によって、捕捉力が粘性抵抗に等しいとみなしたときの、レーザの焦点速度と、焦点重心間距離の間の線形性を確かめて、バネ定数 k の値を定め、顕微鏡下で発生した力に比例した反力を操作者に提示できるこ

とを確認した。

今後は、反力提示による操作性向上の心理物理評価実験を実施して、その有効性を検証することが必要である。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金による。

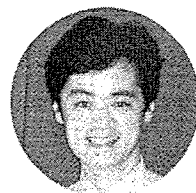
参 考 文 献

- [1] A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm and S. Chn.: Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles; *Optics Letters*, Vol. 11, No. 5, pp. 288-290 (1986)
- [2] T. Ota, T. Sugiura and S. Kawata: Rupture force measurement of biotin-streptavidin bonds using optical trapping; *Applied Physics Letters*, Vol. 87, No. 5, pp. 43901-43903 (2005)
- [3] G. V. Shivashankara and A. Libchaber: Single DNA molecule grafting and manipulation using a combined atomic force microscope and an optical tweezer; *Applied Physics Letters*, Vol. 71, No. 25, pp. 3726-3729 (1997)
- [4] M. Nakao, T. Kuroda, M. Komori and H. Oyama: Evaluation and user study of haptic simulator for learning palpation in cardiovascular surgery; *International Conference of Artificial Reality and Tele-Existence (ICAT)*, pp. 203-208 (2003)
- [5] A. H. Meier, C. L. Rawn and T. M. Krummel: Virtual reality: "Surgical application? Challenge for the new millennium; *American College of Surgeons*, Vol. 192, No. 3 (2001)
- [6] J. Mayrose and T. Kesavadas: Utilization of virtual reality for endotracheal intubation training; *Resuscitation*, No. 59, pp. 133-138 (2003)
- [7] 高木, 下田: 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, p. 581 (1991)
- [8] W. Zhongquan, W. Lide and W. Aicheng: The robust algorithms for finding the center of an arc; *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 62, No. 3, pp. 269-278 (1995)
- [9] 中野, 杉浦, 湊: 力覚デバイスによる光トラップしたマイクロメートル粒子の遠隔操作; 計測自動制御学会関西支部シンポジウム「計測と制御の新たな発展」講演論文集, pp. 39-42 (2002)
- [10] 西山, 小谷, 大塚, 山田: 物理学への道, 学術図書出版社, p. 273 (1978)

腹腔鏡視野制御を行った 遠隔共同手術の臨床応用

独立行政法人国立病院機構東京医療センター

和田則仁



●Summary

Cooperative telesurgery: a system for remote control of visual field of laparoscope. We have developed a new system of cooperative telesurgery. In this system, a mentor can assist the surgery over long-distance by controlling the visual fields of the laparoscope.

要旨: 70 Mbps 帯域保障の高速通信回線を利用して、高画質な内視鏡画像を相方向に伝送した上で、指導医が遠隔地から腹腔鏡の視野制御を行うつつ手術指導を行う遠隔共同手術システムを構築し、臨床応用し得た。

近年、情報技術 (IT) の進歩で、いつでもどこでも容易に情報を利用できる、いわゆる「ユビキタス」な社会環境が整備されつつある。それを可能にしている1つの要因がブロードバンド・ネットワークの普及である。

インターネット・プロトコール (IP) により、世界規模で相互に接続された巨大なネットワークであるインターネットは、世界中に広く行きわたり、このブロードバンドの普及と相まって、高画質の動画像を広域で扱えるようになってきた。この通信技術を利用して、最近では診断学や診療支援の分野を中心に遠隔医療の臨床応用が進んできているが、外科的治療については解決すべき問題が山積している。しかし、手術用ロボットの開発に伴い、ようやく遠隔手術が産声を上げて

きており、今後の発展が期待される。

遠隔手術が実現すれば、離島や僻地などでも外科医が出向かずに手術を受けられるようになるほか、高度な技術を持った専門医が世界中の患者に対して手術を行えるようになる可能性もある。また、遠隔手術は必然的に手術用ロボットを用いた鏡視下手術となるため、一般に開腹・開胸手術に比べ低侵襲な治療となる。すなわち、遠隔手術の進歩・普及により、難易度の高い低侵襲治療が世界のどこでも受けることができるような近未来像が描かれるわけである。

近年、通信技術の進歩に伴い 70 Mbps の帯域が確保された高速通信回線が商用に提供されるに至り、今後広く普及することが見込まれる。そこで我々が 02 年に開発した遠隔手術指導システムを基盤に、この通信回線を利用することで、高画質な内視鏡画像を相方向に伝送した上で、指導医が遠隔地から腹腔鏡の視野制御を行うつつ手術指導を行う遠隔共同手術 (cooperative telesurgery) システムを構築した。

そこで本稿では、この遠隔共同手術システムの臨床応用について紹介し、わが国の外科領域での遠隔医療の課題と展望を述べる。

これまでの外科領域での遠隔医療

外科領域における遠隔医療については、遠隔手術のほか、遠隔手術指導、遠隔カンファレンスなどが行われてきた。以下に、各種の遠隔医療について概説する。

(1) 遠隔手術 (remote telesurgery)

遠隔手術には telesurgery の英語表記がしばしば使用されるが、この言葉が広義で使われることもあるため、遠隔地からの操作による手術を remote (tele) surgery あるいは telepresence surgery と区別することがある。

初の遠隔手術システムは 92 年 Stanford Research Institute の Green らにより開発された。これが後に Intuitive Surgical 社により MONA システムとして発表され、その後、改良を重ね da Vinci Surgical System となり普及するに至った。また、ZEUS Surgical System は 96 年に初めて臨床応用され、99



図1 遠隔共同手術

年、心拍動下冠動脈バイパス手術に成功した。現在この2つのシステムが遠隔手術に臨床応用できる。

01年、フランス・ストラスブルグと米国ニューヨークを結んで世界で初めて遠隔手術(remote telesurgery)が臨床で行われた。

いわゆるリンドバーク手術「Operation Lindbergh」である。10 Mbps の asynchronous transfer mode (ATM) 回線を利用して、Z EUS システムによる胆嚢摘出術が行われた。執刀医 Jacques Marescaux 教授がニューヨークでコンソールを操作し、ストラスブルグの患者側のロボットアーム2本を動かした。伝送遅延は155 ms で合併症なく、54分間で手術が行われた。

2) 日本の遠隔手術

我が国では02年8月、九州大学と東京大学の共同研究により、ブタの胆嚢摘出術が東京と静岡県富士宮市との間で行われた。ISDN 3 回線を利用した国産手術ロボットによる遠隔手術であり、今後の発展が期待される。

3) 遠隔手術指導

遠隔手術指導 (telementoring) は、「手術

リアルタイムでの双方向性指導」と定義される。

我々は、99年10月以来、遠隔医療の一環として、鏡視下手術における遠隔手術指導システムを実用化してきた。当初はISDN 3 回線を用いた動画・音声圧縮転送システムを用いていた。しかし、ブロードバンド通信の普及に伴い、安価で質の高い情報が伝送し得る社会的基盤が整備されつつあり、医療の分野でも応用が期待されるようになった。現在、ADSL や家庭用光ファイバー (FTH) では、ベストエフォートのサービスながら、月々数千円の負担で100 Mbps の帯域が得られる。

一方でこのような広域ネットワークでは、典型的に要保護性の高い医療情報を扱う上では、高度なセキュリティを確保することが要求される。外科領域における遠隔手術指導では高画質な動画像がリアルタイムで伝送されることが必須の条件となる。しかし、このような大容量の情報を強固に防御するには、従来、高性能のコンピュータを必要としたため実用化が困難であった。

そこで暗号強度と通信速度が両立可能な新しい暗号技術により、高いセキュリティを確保しつつ、インターネットを介してリアルタイムに動画像を転送し得るシステムを構築した。これを用いて腹腔鏡補助下幽門側胃切除術 (LADG) や内視鏡的胃粘膜切除術 (EMR) の遠隔指導を安全に施行し得た。帯域保障のないベストエフォート型のサービスであっても、比較的安定した環境で動作し得るため、今後、広く普及する可能性がある。

と考えられた。

4) 遠隔カンファレンス

遠隔カンファレンスは、遠隔指導に比べてデモンストレーションやディスカッションが主体となるが、リアルタイム性と双方向性を求められる点で、技術的には共通の部分が多い。遠隔指導は2地点間となることが多いが、遠隔カンファレンスは多地点間を接続することでの有用性が高まるとされる。

我々は00年2月、京都大学と連携して国内初の2病院間ドミノ肝移植を行った。アミロイドポリニューロパシー (FAP) の20代男性患者から摘出した肝臓を京都から京都大学に運ぶにあたり、緊密な連携が不可欠と考え、周術期にテレカンファレンスを併用し良好な結果を得た。

実用的な遠隔共同手術システムの開発

我々は、実用的な遠隔手術の形態として、遠隔共同手術システムを開発し臨床応用した。その概要を紹介する。

症例は49歳女性、有症状の胆石症患者である。東京医療センター倫理委員会の承認を経て、患者に説明し事前に文書で同意を得た。

内視鏡はオリンパス社製 ImageTrack を用い、遠隔支援コントローラーは EndoALPICA を利用した。デジタル画像伝送装置は富士通ネットワークテクノロジ社製 DVSTREAM II を用いた。通信回線は日本テレコム社の Wide-Ether (70 Mbps、外部からアクセスできない閉域網) を利用し、相方向の DVTS で動画像転送を行った。

04年3月25日、胆石症に対する腹腔鏡下胆

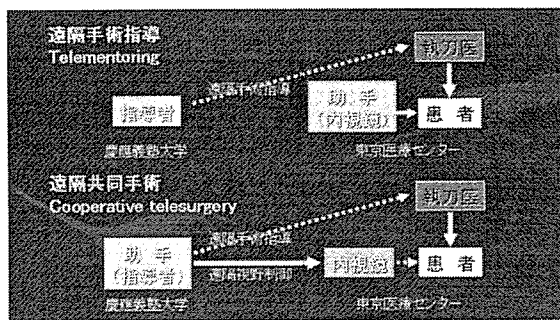


図2 遠隔手術指導と遠隔共同手術の関係

養摘出術の遠隔共同手術を行い、安全かつ効果的に内視鏡外科手術を遠隔地の指導医と共同で施行し得ることを確認した(図1)。

決すべき問題が数多くある。一方、遠隔共同手術は、ロボットなどの特殊な設備や多くの人員を必要とせず、執刀は手術室の医師により行われるため、安全性が確保されている。コスト面でもより現実的であり、現段階において普及可能な遠隔手術システムになり得ると考えられた(図3)。また指導医が視野制御を直接行い適切な術野を提示し得るため、従来の遠隔手術指導に比して、特に難易度の高い内視鏡外科手術や、頻度の少ない内視鏡外科手術、人員の少ない病院の診療援助

症例に学ぶ ―消化器疾患のリスクマネジメント―

連載◆第2回

一般消化器外科におけるリスクマネジメント ―治療方針変更を余儀なくされた急性胆嚢炎を合併した 遺伝性球状赤血球症の1例―

和田則仁* 大石 崇* 金 史英* 岸 真也*
徳山 丞* 大住幸司* 北條 隆* 竹内裕也
島田 敦* 磯部 陽* 池内駿之* 窪地 淳*

*Norihito Wada, Takashi Ohishi, Shiei Kim, Shinya Kishi,
Jo Tokuyama, Koji Ohsumi, Takashi Hojo, Hiroya Takeuchi,
Atsushi Shimada, Yoh Isobe, Shunji Ikeuchi, Kiyoshi Kubochi/

国立病院機構東京医療センター外科



リスクマネジメント

医療安全

インフォームド・コンセント (IC)

はじめに

内閣府より2004年9月4日付で発表された「国民生活に関する世論調査」の結果によると、政府が力を入れるべき政策は「景気対策」を抜いて「医療・年金等の社会保障構造改革」が今年ではじめて1位になった¹⁾。国民の厚生行政に対する関心の高まりを示す事柄の一つであるが、近年、医療事故が頻繁に報道されるようになったこともその一因となっていることは疑いないであろう。

国民の医療に対する信頼を損なわないよう一層の努力を促すため、国は2003年12月、省内の担当部局に医療安全対策の強化を強く指示するとともに、関係機関により一層の対策推進を求める「厚生労働大臣医療事故対策緊急アピール」を発表した²⁾。そのなかでは、「人」「施設」「もの」の三つ面から対策の強化が示されている。その施策が

ら医師には、高い見識と高度な医療技術を身につけることはもちろんのこと、基本的な倫理観に基づいて患者、および家族からインフォームド・コンセント (IC) を適切に取得して診療にあたる姿勢が求められる。また、高度にシステム化した現代医療では、医師が中心となり医療職種間のコミュニケーションを良好に保ち、院内の各部署におけるリスクの要因を把握して、必要な体制の整備を進める必要がある。さらに、医薬品や医療用具の有効性や安全性について最新の知見を収集し診療に反映することも求められる。

一般消化器外科においては、迅速かつ適切な治療が要求される重篤な急性疾患や、全人的な対応が求められる予後不良な悪性疾患の患者を少なからず扱う。また、手術や病棟における侵襲的処置などが日常的におこなわれており、過失の有無を問わず、危機的合併症や医療事故が発生するリス

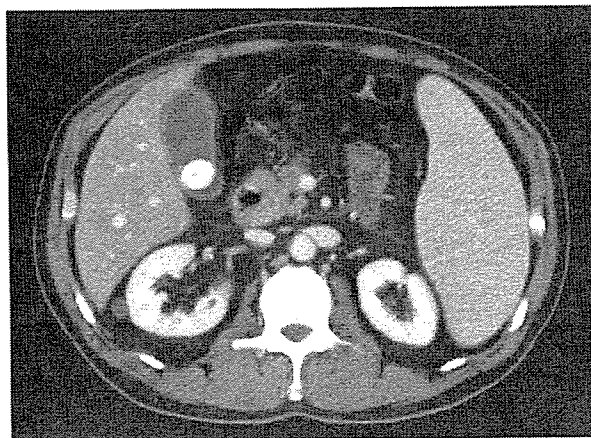


図 1. 入院時 CT

クは小さくない。したがって、一般消化器外科では医療安全に対して、さらに注意を払う必要がある領域であると考えられる。この面では、日本外科学会においてもさまざまな取り組みがなされている³⁾⁴⁾。

本稿では、治療方針変更を余儀なくされた急性胆嚢炎を合併した遺伝性球状赤血球症の1例を提示して、一般消化器外科領域におけるリスクマネジメントについて考察する。

症 例

患 者：51 歳、男性

主 訴：上腹部痛

既往歴：18 歳、遺伝性球状赤血球症（姉の発症を契機に検査し診断された）、25 歳、胆石症（検診にて診断された）。

経 過

2ヵ月前、胆石発作のため前医にて入院治療を要した。その後、数回の軽度の胆石発作を起こしたため、当院での手術を希望して来院した。前医で撮影した CT にて、胆嚢壁の肥厚、巨脾（遺伝性球状赤血球症に伴うものと考えられる）を認めた。

有症状の胆石症で、軽度の血小板減少（約 10 万/ μ l）と左上腹部圧迫感を伴っていることから、腹腔鏡下胆嚢摘出術・脾摘術の適応と判断された。患者本人の仕事の都合などから1ヵ月後に待期的手術をおこなう予定とした。

帰宅後から上腹部痛を自覚し、次第に増悪する傾向を認めた。黄疸を伴ってきたため、2日後、当院外来を受診した。急性胆嚢炎と診断し直ちに入院となった。

入院時、上腹部に強い圧痛を認めたが、腹膜刺激症状は認めず、CT、腹部エコーでは胆嚢頸部に嵌頓した結石を認め、胆嚢壁は軽度肥厚していた（図1）。脂肪肝、脾腫を伴っていた。明らかな総胆管や膵管の拡張像や総胆管結石の所見は認めなかった。入院時検査所見は、白血球（white blood cell：WBC）6,900、ヘモグロビン（Hb）12.5、血小板（platelet：Plt）14.4、アルカリホスファターゼ（Al-P）597、グルタミン酸-オキサロ酢酸トランスアミナーゼ（GOT）276、グルタミン酸-ピルビン酸トランスアミナーゼ（GPT）465、乳酸デヒドロゲナーゼ（lactate dehydrogenase：LDH）397、コリンエステラーゼ（Ch-E）137、 γ グルタミルトランスぺプチダーゼ（ γ -glutamyl transpeptidase： γ GTP）1,101、総ビリルビン（T-Bil）27.4、血清アミラーゼ（Amy）2,887であつ

表 1. 入院時検査所見

WBC	6,900	/ μ l
Hb	12.5	g/dl
Plt	14.4	10^4 / μ l
Al-P	597	U/l
GOT	276	U/l
GPT	465	U/l
LDH	397	U/l
Ch-E	137	U/l
γ GTP	1,101	U/l
T-Bil	27.4	mg/dl
D-Bil	19.6	mg/dl
Amv	2.887	U/l
Lip	2,339	U/l
CRP	1.3	mg/dl



図 2. 経皮経肝胆嚢ドレナージ術 (PTGBD)

た(表1)。そこで、全身状態の改善を待って準緊急手術により、当初の予定通り鏡視下に胆嚢摘出術、および脾臓摘出術をおこなうという治療方針を立て、ICを得て経皮経肝胆嚢ドレナージ術(percutaneous transhepatic gallbladder drainage: PTGBD)をおこなった。エコーガイド下にワンステップ法により胆嚢を穿刺したところ、いったんは胆嚢内容が吸引されたが、pig tailカ

テーター留置の段階でカテーター先端が腹腔内に留置された(図2)。また、腹痛の増強を認めた。そこで、同日緊急で開腹胆嚢摘出術、術中胆道造影、Cチューブ留置をおこなった。開腹すると、腹腔内に胆汁性の腹水を認めた。PTGBDカテーターは胆嚢頸部近くの肝下面にあり、すぐ近傍で胆嚢が穿孔していた。胆嚢は全体に壁肥厚していたが、結石嵌頓部では菲薄化した部分を認めた。高アミラーゼ血症、高ビリルビン血症を合併していたため、手術時間の短縮などをはかり脾摘はおこなわなかった。術後は順調に経過し、14日目に軽快退院となった。脾摘は後日改めておこなうこととした。

考 察

本症例は、初診時に待期的腹腔鏡下手術を予定したが、急性胆嚢炎の発症により入院となった。入院後PTGBDにより全身状態の改善を待って予定通り鏡視下に胆摘・脾摘をおこなう方針を立てたが、PTGBDカテーターを留置しえず緊急開腹手術で胆摘のみおこなう結果となった。すなわち、初診時からみて二つの望ましくない病態を招いたことになる。手術を待っている間の急性胆嚢炎発症と、PTGBD施行時のカテーター・トラブルである。

まず、手術待機中の急性胆嚢炎発症については、予想範囲内のイベントであったと考えられる。初診時の身体所見、および入院時検査所見結果では特段緊急の処置を要する所見は認めていなかった。ブスコパンなどの抗コリン作動薬の投与は一般に対症療法と考えられており、胆石症に対する胆嚢炎発症予防に関する有効性、および安全性に関する情報は乏しい。また、胆嚢炎発症のリスクがあることと、発作時には受診するよう説明していたため、本症が問題視されることはなかった。受診までに2日が経過していたが、早急に受診していた場合に利益があったか否かは不明である。

次に PTGBD の際のカテーテル・トラブルについて、手術所見から穿刺針は肝下面からいったん遊離腹腔を経て胆嚢を刺入したが、pig tail カテーテル留置の段階でガイドワイヤーがはねて腹腔内に留置されたものと考えられた。本例では PTGBD 施行前に出血、感染、気胸、周囲臓器の損傷、カテーテル逸脱・断裂などの一般的なリスクについて説明し IC を得ていた。カテーテル・トラブル発生後も鎮痛をおこなった後、経過を説明し理解を得て緊急手術を施行した。隠蔽することなく誠意をもって対応したことにより、患者側との信頼関係が築けたため、何ら民事的問題を引き起こすことなく診療を継続することができた。

一般消化器外科の日常診療では、救急医学から腫瘍学、甲状腺・乳腺などの内分泌臓器から胸腹部の消化器など幅広い疾患を取り扱うことになる。また、悪性疾患の緩和医療に向き合う状況も多々みられる。一方で近年、各分野の診断治療の専門化、高度化が著しく、手術手技についても内視鏡外科学の進歩により、新たな難易度の高い技術が標準治療に加わってきている。「低侵襲」や「機能温存」、「個別化（テーラーメイド）」というキーワードに代表される現代医学の潮流は、単に疾病を治療することだけではなく、患者の quality of life (QOL) 向上をめざしている。患者、保険者、行政から求められる医療水準は日々高くなっており、外科医にとっては最新の知識と医療技術を身に付け generality（一般性）と specialty（専門性）を両立することは困難になってきていると思われる。そのため、外科の後期研修制度の充実、専門

家による診療支援システムの確立などを図るとともに、セカンドオピニオンによる病院の選別や、医療機関の機能分担などにより、医療資源を有効利用しつつ患者によりよい医療を提供する環境整備が望まれる。

おわりに

医療安全推進に対する不断の取り組みにより事故発生を減らすように努めるは当然のことであろう。しかし、人間が治療をおこなう限り、“To err is human”の概念に基づけば、医療事故の発生はゼロにはし得ないと考えられる。忘れてならないことは、医療従事者同士がよくコミュニケーションを取り協力し合って、患者側と強い信頼関係を築き治療にあたることだと思われる。また、万一事故が発生し健康被害が発生した場合に、責任の問題とは別に、迅速に被害を補償する制度を整える必要があると思われる。

文 献

- 1) 国民生活に関する世論調査（平成 16 年 6 月）、内閣府、ホームページ：[//www8.cao.go.jp/survey/h16/h16-life/2-4.html](http://www8.cao.go.jp/survey/h16/h16-life/2-4.html)
- 2) 厚生労働大臣医療事故対策緊急アピール（平成 15 年 12 月 24 日）、厚生労働省ホームページ：[//www.mhlw.go.jp/shingi/2003/12/s1225-9i.html](http://www.mhlw.go.jp/shingi/2003/12/s1225-9i.html)
- 3) 加藤治文：外科領域におけるセーフティマネジメント、日外会誌 104：1-39, 2003
- 4) 山川達郎、岩崎康孝、古川俊治：緊急企画 1 消化器外科手術をめぐる医療安全と倫理問題、日消外会誌 37：189-190, 2004

遠隔手術

和田則仁* 古川俊治** 磯部 陽* 窪地 淳* 北島政樹**

情報技術の進歩によりブロードバンド通信が普及してきている。これを利用した遠隔医療の研究が進み、手術ロボットの開発と相まって、2001年米仏間において世界ではじめて遠隔手術が臨床でおこなわれた。外科領域の遠隔医療として遠隔手術のほか、遠隔手術指導、遠隔カンファレンスなどがあげられる。われわれは1999年以来、普及可能な遠隔手術指導システムを開発してきた。最近では、セキュリティに配慮したインターネット・プロトコール(IP)で通信可能なシステムを臨床応用した。また、遠隔カンファレンスは2病院間のドミノ肝移植にも有用であった。今回、このような遠隔医療と遠隔手術における最近の進歩について消化器疾患を中心に概説する。

はじめに

近年、情報技術(information technology: IT)の進歩によりいつでもどこでも容易に情報を利用できる、いわゆる“ユビキタス”な社会環境が整備されつつある。それを可能にしている一つの要因がブロードバンド・ネットワークの普及である。インターネット・プロトコール(IP)により、世界規模で相互に接続された巨大なネットワークであるインターネットは、世界中に広く行き渡り、このブロードバンドの普及と相まって、高画質の動画を広域で扱うことが可能となってきた。この通信技術を利用して、最近では、診断学や診療

支援の分野を中心に遠隔医療の臨床応用が進んできているが、外科的治療については解決すべき問題が山積している。しかし、手術用ロボットの開発に伴い、ようやく遠隔手術が産声を上げてきており今後の発展が期待される。

遠隔手術が実現すれば、離島や僻地などでも外科医が出向くことなく手術を受けることができるようになるほか、高度な技術をもった専門医が世界中の患者に対して手術をおこなうことができるようになる可能性がある。また、遠隔手術は必然的に手術用ロボットを用いた鏡視下手術となるため、一般に開腹・開胸手術にくらべ低侵襲な治療となる。すなわち、遠隔手術の進歩・普及により、難易度の高い低侵襲治療が世界のどこでも受けられるような近未来像が描かれるわけである。

本稿では、消化器疾患を中心に遠隔医療と遠隔手術における最近の進歩について概説する。

【キーワード】

遠隔手術指導
遠隔カンファレンス
リンドバグ手術
セキュリティ
遠隔医療

* Norihito WADA, Yoh ISOBE, Kiyoshi KUBOCHI/国立病院機構東京医療センター外科

** Toshiharu FURUKAWA, Masaki KITAJIMA/慶應義塾大学医学部外科

1. 遠隔医療 (telemedicine) の発端

遠隔医療は単純に「遠隔地からの診療行為」とは定義付けることができない。これでは、電話で専門医に問い合わせるというようなことが含まれてしまうからである。医療情報技術の総合的評価と推進に関する研究班（主任研究者：開原成允）では遠隔医療を「映像を含む患者情報の伝送に基づいて遠隔地から診断、指示などの医療行為及び医療に関連した行為をおこなうこと」と定義している¹⁾。すなわち、映像伝送という点が遠隔医療の重要な構成要素になるわけである。また、ある程度の即時性が要求されることも、医療行為の本質に照らして当然のことと考えられる。

1997年、厚生省（現・厚生労働省）は、情報通信機器を用いた診療（いわゆる「遠隔診療」）について通達を発したが、その中で、遠隔診療を「情報通信機器を応用し診療の支援に用いるもの」と定義している。この通達は、遠隔診療が無診察診療を禁じた医師法第二十条（医師は、自ら診察しないで治療をし（中略）てはならない）に抵触するとの懸念から発せられたものであった。まず、基本的考え方として、遠隔診療は直接の対面診療を補完するものであり、これに代替しうる程度の患者の心身の状況に関する有用な情報が得られる場合にのみおこなうべきとした。そして、遠隔診療で留意すべき点として、表1の6項目があげられ、安易な遠隔医療が無制限におこなわれることへの一つの歯止めとなっている。

わが国の遠隔医療の歴史は、1971年、和歌山県でのCCTV（closed circuit television）回線、および電話線による実験に端を発する。200キロメートルの心電図伝送実験がおこなわれ、遠隔医療の技術的可能性が示された。その後、1980年代に入り通信衛星やISDNなど、その時代の通信技術を利用した試みが研究されてきたが、画像の質やコストの面などで制約があり普及するには至らなかった。

表 1. 遠隔医療の原則

- ・基本：あくまで対面診療を補完するもの
- ・留意事項：
 1. 慢性疾患など病状が安定している患者が対象となる。
初診・急性期疾患では、原則として対面診療を行う
 2. 対面診療ができる場合、対面診療を行う
 3. 離島、へき地などでは患者側の要請に基づき対面診療と適切に組み合わせて実施する
 4. 患者に十分に説明し理解を得る（特に、通信機器の使用法、故障の場合の対処法など）
 5. 患者のプライバシー保護には慎重に配慮する。
 6. 医療過誤での責任（治療協力の必要の告知）

（旧・厚生省通知、平成9年12月24日 健政発第1075号）

表 2. 外科領域の遠隔医療

1. 遠隔手術（remote telesurgery）
2. 遠隔手術指導（telementoring）
3. 遠隔カンファレンス（teleconferencing）

2. 外科領域の遠隔医療

外科領域における遠隔医療については（表2）、遠隔手術のほか、遠隔手術指導、遠隔カンファレンスなどがおこなわれている²⁾。米国消化器内視鏡外科学会（SAGES）は、急速に進歩してきている内視鏡外科領域の遠隔医療について、2000年、用語の定義とガイドラインを発表した³⁾。以下に、各種の遠隔医療について概説する。

1) 遠隔手術（remote telesurgery）

遠隔手術には“telesurgery”の英語表記がしばしば使用されるが、“telesurgery”が広義で使われることもあるため、遠隔地からの操作による手術を“remote (tele) surgery”あるいは“telepresence surgery”と区別することがある。

初の遠隔手術システムは1992年Stanford Research InstituteのGreenらにより開発された。これが後にIntuitive Surgical社により

MONA システムとして発表され、1997 年、ベルギーにおいて世界ではじめて MONA システムを用いた手術がおこなわれた。その後、改良を重ね da Vinci 装置となり普及するに至った。また、ZEUS 装置は 1996 年にはじめて臨床応用され、1999 年、心拍動下冠動脈バイパス手術に成功した。現在この 2 つのシステムが遠隔手術に臨床応用可能である。

2001 年、仏国ストラスブルグと米国ニューヨークを結んで世界ではじめて遠隔手術が臨床でおこなわれた⁴⁵⁾。いわゆるリンドバーグ手術 (operation lindbergh) である。1927 年に単独での大西洋横断飛行に成功した Charles Lindbergh にちなんでこのように名付けられた。10 M bit per second (Mbps) の asynchronous transfer mode (ATM) 回線を利用して、ZEUS 装置による胆嚢摘出術がおこなわれた。執刀医 Jacques Marescaux がニューヨークでコンソールを操作し、ストラスブルグの患者側のロボットアーム 2 本を動かした。伝送遅延は 155 ms で合併症なく 54 分間で手術がおこなわれ、遠隔手術の安全性を実証した手術としてマスコミにも大きく取り上げられた。

2) わが国の遠隔手術

わが国では、遠隔手術の臨床応用例はないが、2002 年 8 月、九州大学と東京大学の共同研究によりブタの胆嚢摘出術が、東京と富士宮 (静岡県) との間でおこなわれた。ISDN 3 回線を利用した国産手術ロボットによる遠隔手術であり、今後の発展が期待される⁴⁶⁾。

3) 遠隔手術指導 (telementoring)

遠隔手術指導は、「手術のリアルタイムで双方向性の指導」と定義される³⁾。

われわれは、1999 年 10 月以来、遠隔医療の一環として鏡視下手術における遠隔手術指導システムを実用化してきた⁷⁾。当初は ISDN 3 回線を用いた動画・音声圧縮転送システムを用い、専用回線を

用いた遠隔医療として確立された形態になりうると思われる。この技術を利用して第 100 回日本外科学会総会では、特別企画「ライブ・デモ—Robotic Surgery と遠隔手術指導—」をおこなった。学会会場と慶應義塾大学病院、川崎市立川崎病院、さらに Mt. Sinai Medical Center (ニューヨーク) を結び、ロボット手術のライブ・デモ、および腹腔鏡下大腸切除術の遠隔手術指導を供覧した⁴⁷⁾。

一方、近年わが国では、ブロードバンド通信の普及に伴い、安価で質の高い情報が伝送しうる社会的基盤が整備されつつあり、医療の分野でも応用が期待される。現在、Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) や家庭用光ファイバー (FTTH) では、ベストエフォートのサービスながら、月々数千円の負担で 1~100 M (bps) の帯域が得られる。しかしながら、このような広域ネットワークでは、類型的に要保護性の高い医療情報を扱ううえでは、高度にセキュリティを確保することが要求される。外科領域における遠隔手術指導では高画質な動画像がリアルタイムで伝送されることが必須の条件となるが、このような大容量の情報を強固に防御するには、従来、高性能のコンピュータを必要としたため実用化が困難であった。そこで暗号強度と通信速度が両立可能な新しい暗号技術 (C4S)⁴⁸⁾により高いセキュリティーを確保しつつ、インターネットを介してリアルタイムに動画像を転送しうるシステムを構築した。これを用いて腹腔鏡補助下幽門側胃切除術 (laparoscopy assisted gastrectomy: LADG) や内視鏡的粘膜切除術 (endoscopic mucosal resection: EMR) の遠隔指導を施行し得た¹⁰⁾。2 施設間に C4S による virtual private network (VPN) を構築し、FTTH および ADSL 回線を使用し、ポリコム社製 ViewStation、またはソニー社製ビデオ会議システム PCS-1を用いて、腹腔鏡などの動画像、PowerPoint などのパソコン画像、レントゲン画像、書画カメラ画像、室内音声などを IP 化し、

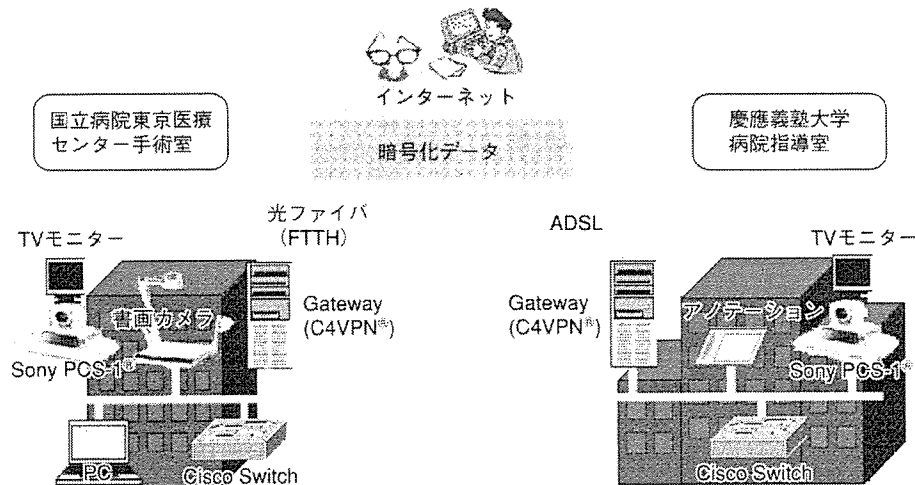


図 1 システム概念図

VPNで暗号化したうえで指導側に送った。指導側で復号化し、画像にアノテーション情報を加えて、音声とともに手術側に転送し、手術の支援をおこなった(図1)。画像の遅延は往復で400~800ms程度であったが、早期胃癌症例に対してLADGおよびEMRの遠隔支援をおこなったところ、アノテーション機能と音声により、効果的な手術支援がおこなわれた。術者は、遠隔地からの助言であっても、あたかもその場で指導を受けているかのような感覚で手術を進めることが可能であった。帯域保障のないベストエフォート型のサービスであっても、比較的安定した環境で動作しうするため、今後、広く普及する可能性があると考えられた。遠隔医療システムの普及が進み、多施設間で情報交換が促進されれば、鏡視下手術の質の向上に大きく寄与する可能性があると考えられた。

最近、高度な鏡視下手術に対して医療安全を求める世論が高まっている。それに対して、高い技術をもった内視鏡外科医を技術認定する動きが学会中心で進められている。この多くは未編集のビデオによる審査がおこなわれる予定だが、受験者以外の指導医による誘導で手術がおこなわれていたり、偶然大きくいった手術のみで技術認定されて

しまう可能性が残る。そこで、遠隔手術指導システムを応用した遠隔手術監督(teleproctoring)を利用することでこれらの問題が解決できる可能性があると考えられた。

4) 遠隔カンファレンス

遠隔カンファレンスは、遠隔指導に比べてデモンストレーションやディスカッションが主体となるが、リアルタイム性と双方向性を求められる点で、技術的には共通の部分が多い。遠隔指導は2地点間となることが多いが、遠隔カンファレンスは多地点間を接続することでその有用性が高まる。

われわれは2000年2月、京都大学と連携して国内初の2病院間ドミノ肝移植をおこなった¹¹⁾。アミロイドポリニューロパシー(FAP)の20代男性患者から摘出した肝臓を東京から京都大学に運ぶにあたり、緊密な連携が不可欠と考え、周術期にテレカンファレンスを併用し良好な結果を得た。

おわりに

遠隔手術は、近い将来実用的なものになりうる可能性がある。工学と連携して最新の科学技術を医療に導入し、その開発を進めるべきである。し

かし、あくまで遠隔手術は対面の手術を補完する性格のもので、SAGES のガイドラインにも記されてるように、患者にとってのメリットをよくみきわめたうえで臨床に導入すべきと考えられた。

文 献

- 1) 医療情報技術の総合的評価と推進に関する研究 総括班報告書：<http://square.umin.ac.jp/enkaku/96/Enkaku-RepSoukatsu-nof.html>
- 2) Eadie LH, Seifalian AM, Davidson BR: Telemedicine in surgery. *Br J Surg* **90**: 647-658, 2003
- 3) The Society of American Gastrointestinal Endoscopic Surgeons. Guidelines for the surgical practice of telemedicine. *Surg Endosc* **14**: 975-979, 2000
- 4) Marescaux J, Leroy J, Gagner M *et al*: Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* **413**: 379-380, 2001
- 5) Marescaux J, Leroy J, Rubino F *et al*: Transcontinental robot-assisted remote telesurgery: feasibility and potential applications. *Ann Surg* **235**: 487-492, 2002
- 6) 橋爪誠：手術支援ロボット：臨床的立場から、日本コンピュータ外科学会誌 **5**: 57-60, 2003
- 7) 古川俊治, 渡邊昌彦, 石井誠一郎ほか：内視鏡外科における遠隔手術教育システム、臨床外科 **57**: 25-32, 2002
- 8) 古川俊治, 若林剛, 小澤壯治ほか：ライブ・デモ—Robotic Surgery と遠隔手術指導—master-slave manipulator を用いた手術と遠隔手術指導、日外会誌 **101**: 293-298, 2000
- 9) 和田則仁, 古川俊治, 磯部陽ほか：Internet protocol による遠隔医療のための暗号化の強度と速度の検討、日外会誌 **105**: 262, 2004
- 10) 和田則仁, 古川俊治, 磯部陽ほか：Internet protocol による遠隔手術支援システムの臨床応用、第12回日本コンピュータ外科学会大会合同論文集：103-104, 2004
- 11) 浦上秀次郎, 若林剛, 島津元秀ほか：衛中テレカンファレンスによる2病院間連携ドミノ肝移植、移植 **35**: 231, 2000

研究速報

Internet protocol による遠隔医療のための
暗号化の強度と速度の検討

1) 国立病院東京医療センター外科, 2) 慶應義塾大学外科

和田 則仁¹⁾, 古川 俊治²⁾, 磯部 陽¹⁾, 窪地 淳¹⁾, 北島 政樹²⁾

目的: 従来, 遠隔医療では ISDN 回線が多用されていたが¹⁾²⁾, 近年, 安価で質の高い情報が伝送しうる通信環境が整備されつつあり, 今後医療の分野においても普及が予想される. 一方, このような広域ネットワークでは, 典型的に要保護性の高い医療情報を扱う上で, 高度にセキュリティを確保する必要がある. また外科領域における遠隔医療では高画質な動画を遅延なく伝送することも重要である. しかし一般に安全強度の強い暗号化を行うと通信速度が遅延するという問題がある. そこでストリーム暗号技術を導入し, その有用性を検討した.

方法: 暗号化通信の速度は, 各種暗号化による Virtual Private Network (VPN) 上でファイルの転送に要する時間として評価した. コンピュータは Dell OptiPlex, CPU は Pentium 4 (1.0 GHz), OS は Windows NT SP6, LAN は 100BASE-TX を用いた. 10 MB のファイルを 10 回転送し, 平均値, および標準偏差を求めた. 暗号はストリーム暗号の C4S, ブロック暗号の Data Encryption Standard (DES), 3DES, Rijndael, BlowFish, CAST を検討した. C4S は (株) フォーカスシステムズ実装, 他の暗号は SSH 社実装のプログラムを用いた.

結果: 暗号化を行わない平文伝送では 1.031 ± 0.013 秒を要した. C4S (暗号キー 512 bit) で暗号化を行うと 1.195 ± 0.017 秒であった. DES では 1.417 ± 0.036 とやや高速であったが, 暗号キーが 56 bit のため暗号強度は明らかに低かった. 現在広く普及している 3DES (同 168 bit) は 2.600 ± 0.122 秒と PC への負荷が明らかに大きかった. Rijndael (同 128 bit), BlowFish (同 168 bit), CAST (同 128 bit) ではそれぞれ 1.399 ± 0.032 秒, 1.359 ± 0.113 秒, 2.611 ± 0.118 秒と, C4S に比し明らかに暗号化の速度は遅かった.

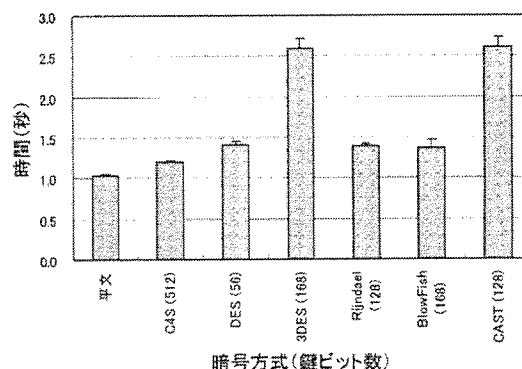


図1 各種暗号化による Virtual Private Network (VPN) での 10MB ファイル転送に要する時間
C4S は他の暗号方式に比べ鍵ビット数が最も長く, かつ暗号化・復号化に要する時間が短かった.

考察: C4S による暗号化は, 暗号キーが長いいため強度が高く, 検討した他の暗号系に比べ, 安全性・速度ともに優れた暗号系であると考えられた. 本システムは IP での遠隔医療を推進する上でのセキュリティ対策上, 極めて有用であり, ブロードバンド通信を利用した遠隔手術指導などに応用することで外科手術の質の向上に貢献しうることが示唆された.

索引用語: 遠隔手術指導, セキュリティ

文献: 1) 古川俊治, 渡邊昌彦, 石井誠一郎, 他: 内視鏡外科における遠隔手術教育システム. 臨床外科, 57: 25-32, 2002. 2) 古川俊治, 若林 剛, 小澤壮治, 他: ライブ・デモ—Robotic Surgery と遠隔手術指導—master-slave manipulator を用いた手術と遠隔手術指導. 日外会誌, 101: 293-298, 2000.

SECURITY AND SPEED IN CRYPTOGRAPHY FOR THE TELE-MENTORING SYSTEM USING INTERNET PROTOCOL

Norihito Wada¹, Toshiharu Furukawa², Yoh Isobe¹, Kiyoshi Kubochi¹ and Masaki Kitajima²

Department of Surgery, National Tokyo Medical Center¹, Department of Surgery, Keio University²

参考資料出典一覧

(お詫び) 本報告書に参考資料として引用させていただいております一部の資料に関しまして、製本時校正上のミスのため、各資料の出典が表示されておりました。関係各位にご迷惑をお掛けいたしましたこと、深くお詫びいたしますとともに、ここに出典一覧表を提示させていただきます。何卒ご了承頂きますようお願いいたします。

資料_森田1: Laparoscopic surgery on WeBSurg, the e-surgical reference

WebSurgホームページ: <http://www.websurg.com/>

資料_森田2: 大阪大学病院未来医療センター 内視鏡トレーニング講習会資料

大阪大学病院未来医療センターホームページ: <http://www.med.osaka-u.ac.jp/pub/hp-mctr/>

資料_森田3: 九州大学病院内視鏡外科手術トレーニングセンター資料1

資料_森田4: 九州大学病院内視鏡外科手術トレーニングセンター資料2

資料_森田5: 九州大学病院内視鏡外科手術トレーニングセンター資料3

九州大学病院内視鏡外科手術トレーニングセンターホームページ: <http://www.med.kyushu-u.ac.jp/imt/training/>

資料_森田6: 名古屋大学鏡視下手術トレーニングラボ資料1

資料_森田7: 名古屋大学鏡視下手術トレーニングラボ資料2

資料_森田8: 名古屋大学鏡視下手術トレーニングラボ資料3

名古屋大学鏡視下手術トレーニングラボホームページ: <http://www.med.nagoya-u.ac.jp/hp/surgery2/ess/course%20menu.html>

資料_森田9: SIMVISION LAP TRAINER 資料

トライメド社ホームページ: <http://www.tri-med.co.jp/products.html>

資料_森田10: Laparoscopic Surgery VR Training Simulator資料

資料_森田11: surgical Science VR Training Simulator資料

GADELIUS社ホームページ: <http://www.gadelius.com/index.cfm?category=19>

資料_森田12: Lap Mentor VR Training Simulator資料1

資料_森田13: Lap Mentor VR Training Simulator資料2

Simbionix社ホームページ: <http://www.simbionix.com/>

資料_田邊1: マネキン型医療訓練シミュレータ資料1

資料_田邊2: マネキン型医療訓練シミュレータ資料2

資料_田邊3: マネキン型医療訓練シミュレータ資料3

Gaumard社ホームページ: <http://www.gaumard.com/customer/home.php>

200634111A

本研究報告書には下記 CD が添付されています。

平成18年度 総括研究報告書

厚生労働科学研究費補助金 医療技術評価総合研究事業

IT技術を取り入れた教育・訓練システムと医療安全教育研修制度
に関する調査研究(H18-医療-一般-032) 主任研究者 北島政樹

