

内視鏡手術における HMD 利用に関する一考察

五味雄一[†] 森田圭紀[‡] 寺田 努[†]
東 健[‡] 塚本昌彦[†]

近年、内視鏡手術は外科的手術を最小限に抑えて病変の切除ができ、患者への負担が少ないことから注目を集めている。しかし、執刀医は内視鏡操作の他に、心拍数や血圧、血中酸素飽和度など、患者の複数の生態情報を総合的に判断しながら手術を進めるため高度な医療技術が求められている。本研究では、執刀医が必要とする生態情報を常時参照できるように、内視鏡の映像と生体情報を頭部装着型ディスプレイ (HMD) に表示し、必要に応じて切り替えることで執刀医の負担を軽減する情報提示システムを提案する。提案システムのプロトタイプを内視鏡手術のライブセミナーにおいて実運用した結果、HMD による情報提示は、内視鏡手術における医師の負担軽減に有効であった。

A Consideration of Using Head Mounted Display on Endoscopic Surgery

YUICHI GOMI[†], YOSHINORI MORITA[‡], TSUTOMU TERADA[†],
TAKESHI AZUMA[‡] and MASAHICO TSUKAMOTO[†]

Endoscopic surgery is a technique that enables surgeons to resect lesions with minimum surgical invasion and offers patients little strain. As a result, it gathers attention in recent years. However, it requires the advanced techniques to perform operations considering various biological information at the same time such as heart rate, blood pressure and blood oxygen saturation level. In this paper, we propose an information presentation system that displays endoscopic images and biological information on Head Mounted Display (HMD) and enables the surgeon to switch over the images. We actually used the prototype system in a live seminar of endoscopic submucosal dissection. From the result, HMD can be used for reducing surgeons' burden in endoscopic surgeries.

1. はじめに

近年、手術時の身体的負担の軽減や入院期間の短縮などの生活の質に対する患者の関心の高まりや、内視鏡のハードウェアの進歩に伴う内視鏡手術が適応可能な症例の拡大により、内視鏡手術が行われる機会は多くなっている。内視鏡手術は外科的手術を最小限に抑えて病変を切除できるため、開腹して行う手術と比べて侵襲性が少なく、手術後の患者の臥床期間を短縮することができる。また、手術に要する時間も通常 1~2 時間程度である。そのため、内視鏡手術は患者の生活の質の向上を図る手段として有効である。

一方で、内視鏡手術を行う執刀医には高度な内視鏡の操作技術が要求される。内視鏡手術中の執刀医は、内視鏡先端に取り付けられたカメラの映像を表示する

内視鏡モニタを見ながら、患者の体内の病変を切除する手術を行う。さらに、血圧や血中酸素濃度などが表示される生体情報モニタで患者の生態情報を把握する必要がある。しかし、生体情報モニタを見るために内視鏡モニタから目を離すと、患者の呼吸や消化器の蠕動によって内視鏡の位置がずれて安定した視野が確保できなくなり、手術が長引いて手術にかかわる執刀医や助手、麻酔科医などのスタッフや患者の負担が増大してしまうことがある。そのため通常周辺機器や手術室内の環境の管理は複数のスタッフが分担しているが、内視鏡モニタや生体情報モニタ以外に、手術室の環境や執刀医の死角となる場所を確認することができれば、スタッフへの的確な指示を出すことができるようになる。このことから内視鏡手術を行うために執刀医は、内視鏡モニタ以外に見なければいけない情報があり、どのようにして複数の情報を把握するかは重要な課題である。

これまで医療現場で頭部装着型ディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を利用した医療現場におけ

[†] 神戸大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University
[‡] 神戸大学大学院 医学研究科
Graduate School of Medicine, Kobe University

るコミュニケーション支援システムや¹⁾⁻⁴⁾、手術時の情報管理システムが提案されてきた⁵⁾⁻⁸⁾。このように、HMDは医療現場における情報提示の手段の1つとして有効であると考えられる。

本研究では内視鏡的粘膜下層剥離術 (ESD: Endoscopic Submucosal Dissection) において、手術中に執刀医が装着した HMD に、生体情報や執刀医の死角となる部分を映すことで、内視鏡モニタから目を離すことなく複数の必要な情報を把握し、執刀医の負担を軽減できるシステムを提案する。また、プロトタイプシステムを「第4回近畿 ESD Live Seminar」において実運用を行った結果について報告する。

以下、2章でESDの概要と問題点について述べる。3章で提案システムについて説明し、4章で提案システムの運用について述べる。5章で結果と考察を述べ、最後に6章で本研究をまとめる。

2. ESDの概要と問題点

ESDは内視鏡を用いて開腹せずに病変を切除する手法の1つである。従来の内視鏡的粘膜切除術では、スネアと呼ばれる器具で病変を掴んで焼き切るため、切除できる病変の大きさには一定の制限があった。ESDでは内視鏡の鉗子口から特殊な電気メスを挿入して粘膜層を切開し、粘膜下層を剥離するため、より大きな病変でも内視鏡で一括切除できる。

しかし、ESDは手技習得が難しく、出血や穿孔の危険性が高いため、内視鏡手技に精通し、十分な経験を積んだ医師が執刀する必要がある。病変によっては手術が長時間に及ぶ場合もあり、患者の状態管理には把握しておかなければならない情報が多いため、執刀医の負担が大きという問題がある。また、執刀医以外にも医師や看護師、技師などの拘束時間が長くなるという問題がある^{9),10)}。

内視鏡の先端には光源とカメラが取り付けられている。執刀医は図1のようにカメラの映像が表示されたモニタを見ながら左手でダイヤルを回して内視鏡先端の上下・左右の向きを制御するとともに、吸引、送気、送水の操作を行い、右手で内視鏡を把持しながら鉗子口から鉗子や電気メスを挿入する。そして、足下のペダルで切開波、凝固波など電気メスの高周波電流や洗浄ポンプの操作を行う。

執刀は心電図、血圧、血中酸素飽和度などの生体情報を常に把握しながら進める必要がある。生体情報の表示は図2に示すような生体情報モニタにトレンドグラフと瞬時値で表示される。通常、執刀医は生体情報モニタから心拍数にあわせて出るパルス音と、血圧

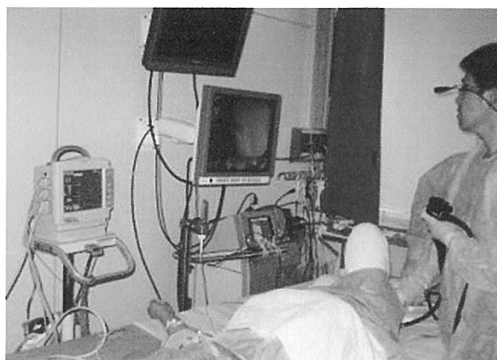


図1 ESD手術の様子
Fig.1 An ESD Operation

が一定値を超えた場合や血中酸素飽和度が一定値を下回った場合など、ある生体情報があらかじめ設定した閾値を超えたときに鳴るアラーム音で状態を把握しているが、音情報によって得られる生体情報は心拍数とあらかじめ設定した1情報だけである。

内視鏡手術では1ミリ単位の非常に繊細な操作が要求される。内視鏡の位置は患者の呼吸や蠕動によって絶えず変化するため、執刀医は常に内視鏡が同じ位置をとるように内視鏡の動きを微調整しながら手術を行っている。そのため執刀中に生体情報モニタを見るために長時間内視鏡モニタから目を離すと、内視鏡の位置が大きくなり、出血や穿孔などの重篤な合併症をきたす危険性がある。よって、安全に手術を進めるためにはできるだけ内視鏡モニタから視線を離さないことが重要である。

3. 提案システム

本研究では、執刀医が情報を得るのを支援するシステムを提案した。HMDは医療用機器ではなく、安価なものであれば3万円前後で購入できるため、医療現場に手軽に導入することができる。HMDを利用することで、手術から目を大きく逸らすことなく生体情報や手術室内の様子を映像で参照でき、執刀医が情報を得るのに必要な負担を軽減できると考えられる。また、多数のモニタを執刀医の立ち位置を考慮して設置する必要が少なくなるため、手術室のスペースを有効利用できる。

提案システムでは、NTSC入力に対応したHMDに、デジタルビデオカメラで手術室内を撮影した映像、内視鏡の映像、生体情報モニタなどの映像出力をダウンコンバータで信号変換した映像などを表示させ、執刀医が必要としている情報を提示した。

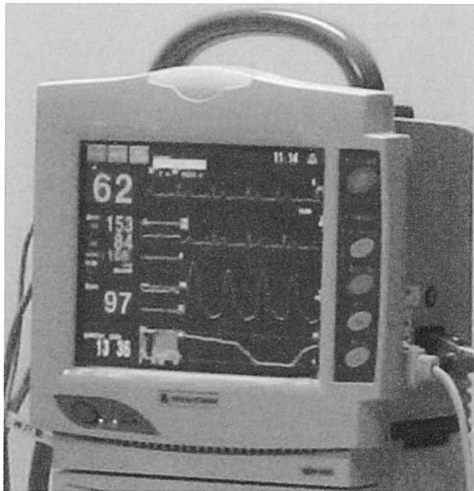


図2 生体情報モニター
Fig.2 A Biological Information Monitor

3.1 HMD による生体情報の提示

手術を行う間、執刀医は内視鏡モニターを注視している。生体情報モニターには心電図、血圧、血中酸素飽和度などのグラフが表示されており、麻酔科医がそれらを総合的に見て患者の状態を判断し、麻酔管理を行っている。執刀医も心拍パルス音の間隔とアラームを聞いているが、音情報からは1つの情報しか分からない。複数の情報を同時に参照しようとするとう生体情報モニターの方を向く必要があるが、内視鏡モニターから目を離す余裕はあまり無い。

そこで、HMD に生体情報モニターの映像を映すことで、内視鏡モニターから目を離さずに生体情報を参照できるようにした。

3.2 HMD による医師の死角の提示

手術中は患者の表情も患者の状態を把握する要素となるが、患者の体勢によっては患者の顔が死角になることがある。また、足下のペダルはブラインド状態で踏み換えているため、手術を進めるうちにペダルの位置がずれ、踏み外すことがある。

そこで、ビデオカメラで患者の顔や執刀医の足下を撮影してHMDに映すことで、執刀医の死角となる部分を提示し、内視鏡モニターから目を離さずに、患者の表情を把握したり、ペダルを踏み外すことなく操作を行えるようにした。

4. 提案システムの運用

提案システムのプロトタイプを、2008年2月16日に神戸大学医学部附属病院と神戸国際会議場において

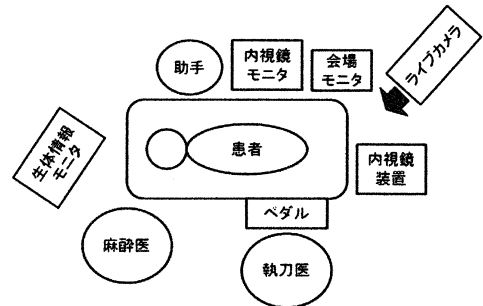


図3 通常のESDライブセミナーの機材・人員の配置
Fig.3 Usual Arrangement of Equipments and Staffs on ESD Live Seminar

開催された第25回近畿内視鏡治療研究会特別企画「第4回近畿ESD Live Seminar」において運用した。

4.1 ESDライブセミナー

ライブセミナーでは3つの手術室で同時に手術が行われる。手術の様子はライブカメラで撮影され、神戸国際会議場に中継される。神戸国際会議場の音声は手術室内のスピーカで共有され、執刀医は装着型マイクを用いて手術の説明を行ったり、神戸国際会議場からの質問に対する応答をしながら手術を進める。

ライブセミナーの機材や人員の配置は図3のようになる。執刀医は図4のように、内視鏡モニターで自分が執刀中の映像を見ながら、内視鏡モニターの横に置かれた小型モニターで会議場の映像を参照する。

手術中、生体情報モニターや会場モニターを見るには内視鏡モニターから大きく目を逸らす必要がある。手術は同時進行で行われるため、他の手術室でトラブルが起こると、いったん手術の進行を止めて様子を見る必要があるが、2節で述べたように患者の動きによる位置のずれなどの問題があるため、執刀医は自分の内視鏡モニターから目を逸らす余裕があまりない。また、ライブカメラの映像が会議場に配信されているため、あまり横を向かないことが望ましい。

4.2 予備実験

2008年1月28日に神戸大学医学部附属病院において行われたESDライブセミナーのリハーサルにおいて、実際に執刀医がHMDを装着してESD手術を行い、使用するHMDや、どのような情報を提示すればよいかについて検討した。両眼HMDを使用すると周辺視野が遮断され、通常の手技を行うのが困難となる恐れがあるため、単眼HMDを使用した。比較に使用したHMDを表1に示す。

実際に装着しながら手術を行った結果、通常的眼鏡のつるに装着でき、付け位置の自由度が高く外界視野

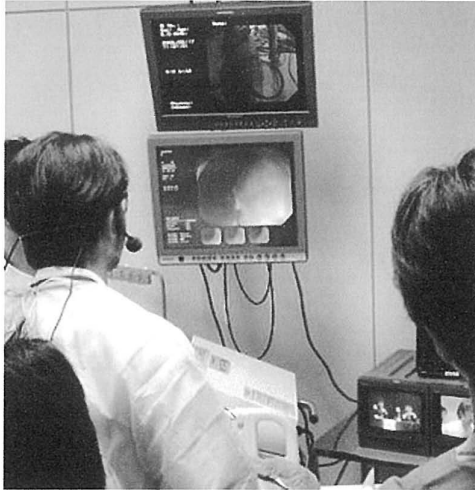


図 4 ESD ライブセミナーのモニタの配置
Fig.4 Arrangement of Monitors on ESD Live Seminar

表 1 HMD の仕様
Table 1 Specifications of HMD

	T3-F	i-Bean	CV-3
メーカー	スカラ	アスナ	MicroOptical
仮想画面位置	2m	1m	非公表
仮想画面サイズ	28 インチ	21 インチ	非公表
モニタ重量	35g	10g	35g
解像度	QVGA	約 18 万画素	VGA
入力信号	NTSC	NTSC	NTSC
装着方法	専用	吸盤	専用
	アタッチメント		アタッチメント
装着場所	専用眼鏡のつる	眼鏡のレンズ	眼鏡のつる
視界の遮蔽	大	大	小
備考	側頭部に収納可		専用ゴーグル付

を広く確保できて内視鏡モニタを見るのに支障が無く、比較的ずれにくい CV-3 が最適であった。

HMD には、

- 別室で行われている手術の内視鏡映の映像
- 足下のペダルをデジタルビデオカメラ (Sony, DCR-PC55) で撮影した映像
- 患者の表情をデジタルビデオカメラで撮影した映像
- 生体情報モニタ (日本光電工業, BSM-2301) の画面を直接出力した映像
- 生体情報モニタの瞬時値を数値出力した映像を提示した。

生体情報モニタの瞬時値の出力には生体情報同期記録システム (KS オリンパス, MFS-DV) を使用した。生体情報同期記録システムは本来手術時の動画像と生体情報をタイムスタンプとともに録画・暗号化し、リ



図 5 使用した生体情報同期記録システム
Fig.5 Synchronous Biological Information Recording System Used on Preliminary Experiment

スクマネジメントや教育などに用いることを目的としたものである。神戸大学医学部附属病院における普段の ESD 手術では使われていないが、図 5 のように録画面面に生体情報の瞬時値と、2 系統の動画像を同時表示できることから、情報表示用に使用した。

生体情報モニタの画面を直接出力した場合、生体情報同期記録システムには動画像として表示されるが、トレンドグラフや数値が小さくて読み取りにくく、瞬間的に必要な生態情報を把握するには瞬時値のみの表示が適していることが分ったため、瞬時値のみを表示した。生態情報同期記録システムには 2 系統の動画像を同時に表示できることから、1 つの動画に内視鏡モニタの画像を表示し、もう一方にどのような情報を表示することが良いかを実験で検討した。その結果、足下のペダルを映すことでペダル操作の利便性が向上したことから、内視鏡モニタの画像と共にデジタルビデオカメラで足下を撮影した映像を表示した。生体情報モニタの映像出力と生体情報同期記録システムの出力はアナログ RGB であるため、ダウンスキャンコンバータ (Novac, CreaVision LX) を用いて NTSC に変換し、HMD に出力した。

以上の実験結果から、ライブセミナーでは、HMD として CV-3 を使用し、HMD にはデジタルビデオカメラで執刀医の足下の電気メスのペダルと洗浄ペダルを撮影した映像、隣室の内視鏡の映像、それら 2 種類の映像と生体情報の瞬時値が表示された生体情報同期記録システムの画面を切り替えて表示することにした。

4.3 ライブセミナーでの運用

4.1 節で述べたセッティング内容と 4.2 節で述べた予備実験の結果を踏まえ、機器を図 6 のように接続し、HMD に足下のペダルの映像、生体情報の瞬時値、

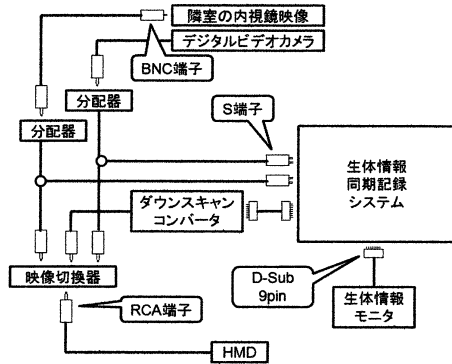


図 6 機器の接続

Fig. 6 Connection of Equipments

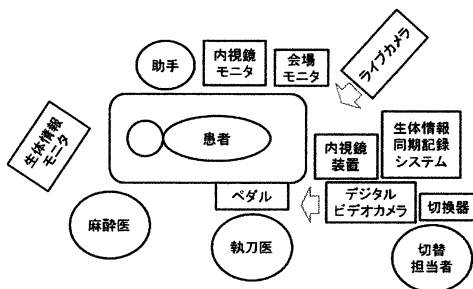


図 7 ESD ライブセミナーの機材・人員の配置

Fig. 7 Arrangement of Equipments and Staffs on ESD Live Seminar

別室で行われている ESD 手術の内視鏡カメラの映像を必要に応じて切り替えて表示した。映像の切り換えは切替器 (Victor, JX-52) を用いて著者の五味が執刀医からの指示に従って手動で行った。生体情報同期記録システムは 2 系統の映像と生体情報モニターからの数値情報を同時表示できるようになっており、映像の大きさは図 5 のように 1 系統を拡大表示するか、2 系統を同じ大きさで表示するかを選択できる。

5. 結果と考察

5.1 運用結果

ライブセミナーでは著者の一人である森田が専用ゴーグルに HMD を装着し、執刀を行った。HMD の画面には少し意識しないと焦点が合わなかった。生体情報は、トレンドグラフの映像をカットして、必要な情報である瞬時値のみ表示したことで視認性が向上した。足下の映像については、ペダルの踏み違いや踏み外しが無くなるので便利であった。このことから、HMD で利用することで、体や視線を動かし情報を確認する方法より、視線移動を少なくすることができた。

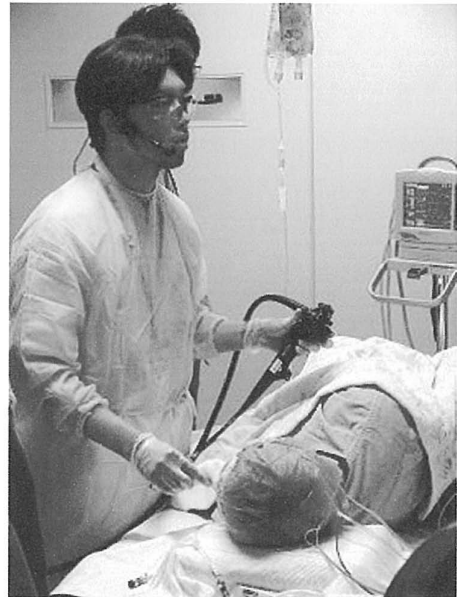


図 8 ESD ライブセミナーの様子

(執刀は著者の森田)

Fig. 8 A Scene of ESD Live Seminar
(The Surgeon is Morita)

一方で問題点として、ゴーグルに照明が映り込みモニターが見つらい問題があった。また、医療機器間で映像出力の形式が異なることから、信号変換が必要なものや、特定の機器間でのみでしか接続できない機器がある。そのため、機器間の配線が煩雑になる問題があった。

ライブセミナーには 600 名ほどの医療関係者が参加した。参加した医療関係者からは、モニターから視線を動かさずに情報が見られる点に関心が集まった。このほか、脳神経外科において、顕微鏡下で行われる手術であるマイクロサージェリーや、遠隔手術など、ロボットアームなどを介して行うような手術で HMD が有用なのではないかという意見が得られた。また、診察時や説明時に患者に HMD を装着してもらい、内視鏡画像を共有することで、患者に安心感を与えたり、コミュニケーションの向上が図れるという意見もあった。

5.2 今後の改善点

問題点であった照明の映り込みは、専用ゴーグルなどを使わずに装着できる HMD である DataGlass3/A (島津製作所) などを利用することで改善できる。

今回の実験では執刀医が装着した HMD に生体情報の瞬時値を表示したが、麻酔科医が HMD を装着すれば、複数の手術を同時に行うような場合でも、移動し

ながら生体情報を切り替えて参照することができる。情報量が多すぎると却って情報参照の妨げとなるため、提示する情報の量は必要十分でなければならない。麻酔科医が HMD を装着する場合には瞬時値でなくトレンドグラフを表示するなど、スタッフの役割によって HMD に表示する内容を変えることで、効率的な人員配置や作業効率の向上につながる。

また、HMD に表示させる映像として、リアルタイムの映像だけでなく、過去に撮影した内視鏡画像を表示して手術中の画像との比較を行ったり、MR や CT の画像から再構築した 3D ボリューム像を表示させ、内視鏡の位置情報を用いてナビゲーションを行うといった利用方法も考えられる。さらに、過去の情報や複数の画像情報を切り替えて表示する場合、執刀医自身が身体に装着したセンサなどを使ってハンズフリーで画面の切り替えを行うことができればより効率的である。

このほか、特殊な内視鏡である親子式胆道鏡の使用時にも HMD を利用した情報提示が応用できる。親子式胆道鏡は、親スコープと呼ばれる十二指腸内視鏡から、子スコープと呼ばれる胆道鏡が飛び出す構造になった内視鏡である。それぞれのスコープにはカメラが取り付けられているが、一方のカメラの映像を映すともう一方の内視鏡カメラの映像は見ることができない。そこで、子スコープを使用する際に親スコープのカメラの映像を常に HMD に映すことで、子スコープの位置が常に確認できる。

5.3 医療教育への応用

ライブセミナーのように別室で行われている内視鏡手術の映像を見る状況として、臨床での教育が挙げられる。医師だけでなく看護師や臨床工学士が動き回ることなく複数の部屋の状況を把握し、指示を出すことができれば教育の効率化につながると考えられる。また、内視鏡の映像だけでなく、執刀医の視点からの映像を撮影して組み合わせることで効果的な教育を行えると期待できる¹¹⁾。

5.4 両眼 HMD の利用

5.1 節で述べたように、マイクロサージェリーで使用する場合や¹²⁾、患者に装着してもらうような場合は、両眼タイプの HMD も活用できると考えられる。もともと術野を直視できないような手術の場合、高解像度の遮蔽型 HMD を使うことで、より直接の手術に近い感覚で執刀を行えると考えられる。そのような手術においては、ロボットの遠隔操作に使用するシステムが応用できると考えられる¹³⁾。

必要な生体情報や周辺情報は必要に応じて執刀医が

表示・非表示を切り替えたり、HMD 上の任意の位置に情報を配置できるようにすれば、手術の効率や安全性を高めることが可能と考えられる。さらに、執刀医と同じ視点で術野の映像を共有することで、5.3 節で述べたような教育にも有効であると考えられる。

患者に装着してもらう場合は周囲の視界が遮断されることによるデメリットは少ないため、装着が手軽で解像度が比較的高く、体勢が変わってもずれにくい両眼 HMD が有効であると考えられる。

6. おわりに

本稿では、内視鏡手術における医師の負担を軽減するために、HMD を利用して執刀医に生体情報や手術室内の様子を提示するシステムを提案し、プロトタイプシステムを ESD ライブセミナーにおいて運用した。その結果、ESD 実施時における HMD による情報提示の有効性が評価され、手術中の執刀医の負担が軽減できることが示された。さらに、手術環境へ情報技術を積極的に取り入れる医工連携により、手術中の医師への負担の軽減や、手術のさらなる安全性向上へ貢献できると考えられる。

今後は今回のライブセミナーであがった問題点を改善し、一般的な手術においても HMD 利用の可能性を探るとともに、既存の医療機器と組み合わせ、HMD 導入によるメリットを最大化できるように、入力方式や操作方法も含めたシステムの検討を行いたい。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金・特定領域研究「情報爆発のための装着型出力デバイスを用いた情報操作方式」(19024056) によるものである。また、株式会社美貴本の協力によるものである。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

- 1) 五味雄一, 寺田 努, 塚本昌彦, “医療支援と患者の QOL 向上のためのウェアラブル機器の利用に関する研究,” ユビキタス・ウェアラブルワークショップ 2007 論文集, p. 38 (2007)
- 2) 村松邦彦, 塚本昌彦, “ウェアラブル機器を用いた歯科医療コミュニケーション支援システムの設計と実装,” 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 1, pp. 11-18 (2008)
- 3) 村松邦彦, 寺田 努, 塚本昌彦, “歯科医療におけるコミュニケーション支援のための状況依存入力インタフェースの設計と実装,” 情報処理学会研究報告 (2008-GN-67), Vol. 2008, No. 31, pp. 109-114 (2008)
- 4) 松永篤志, 有澤淑人, 川口正春, 石川修司, 山高浩一, 川原英之, “患者用ゴーグルモニタを併用した

- 内視鏡検査/患者満足度アップを目指して,” 第76回日本消化器内視鏡学会総会, Vol. 50 (Suppl.2), p. 2232 (2008)
- 5) 半田富美, 内田 整, 伊藤博隆, 畔政和, “臨床麻酔におけるヘッドマウントディスプレイの応用,” 麻酔・集中治療とテクノロジー, Vol. 2000, pp. 10-13 (2001)
 - 6) 牧野洋, 三条芳光, 森田耕司, 土井松幸, 加藤孝澄, 佐藤重仁, “無線ヘッドマウントディスプレイを用いたバイタルサイン監視システムの開発,” 麻酔・集中治療とテクノロジー, Vol. 2004 pp. 64-66 (2006)
 - 7) G. Ortega, A. Wolff, M. Baumgaertner, D. Kendoff, “Usefulness of a Head Mounted Monitor Device for Viewing Intraoperative Xuroscopy during Orthopaedic Procedures,” *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, Vol. 128, No. 10, pp. 1123-1126 (2007)
 - 8) K. Hiramatsu, T. Inui, M. Okada, T. Takeshima, H. Mishima, T. Sakaki, S. Shiono, “New Device for Endoscopic Image Display During Microsurgical Clipping of Cerebral Aneurysms,” *Neurologia Medico-Chirurgica*, Vol. 45, No. 9, pp. 487-490 (2005)
 - 9) 島田英雄, 幕内博康, 千野 修, 西 隆之, 木勢佳史, 葉梨智子, 山本壮一郎, 原 正, “内視鏡的治療 ((特集) 食道癌治療-最近の動向-),” 日本外科学会雑誌 *Journal of Japan Surgical Society*, Vol. 109, No. 1, pp. 10-14 (2008)
 - 10) 小原弘嗣, 増田靖彦, 中嶋 仁, 平井 利幸, “外科医が施行する内視鏡的粘膜炎層剥離術,” 日本外科学会雑誌 *Journal of Japan Surgical Society*, Vol. 107, No. 臨時増刊号_2, p. 611 (2006)
 - 11) 岩瀬良範, 松島久雄, 崎尾秀彰, “ヘッドマウントディスプレイと超小型 CCD による目視視野モニタリング,” 麻酔・集中治療とテクノロジー, Vol. 2004, pp.61-63 (2006)
 - 12) P. Charalampaki, R. Filippi, S. Welschehold, A. Perneczky, “Endoscope-assisted removal of colloid cysts of the third ventricle,” *Neurosurgical Review*, Vol. 29, No. 1, pp. 72-79 (2006)
 - 13) 伊東良太郎, 升谷保博, 関森大介, 宮崎文夫, “人間の行動知能の抽出を目的としたサッカーロボットの没入型遠隔操縦システムの開発,” ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Vol. 2002, p. 43 (2002)