外科医からみた外科手術のインターフェイスの変化と課題

○篠原一彦（東京工科大学医療保健学部）

Consideration on surgeon's interface in the surgical practice

Kazuhiko SHINOHARA (Tokyo University of Technology, School of Health Sciences),

1. はじめに

長年にわたり外科医は、手術に際し視覚・触覚をはじめとする五感を活用してきた。しかし内視鏡外科手術やInterventional Radiologyなどの低侵襲治療は患者には多大な恩恵がある一方で、五感の制限下の遠隔操作を外科医に要求しつつ普及してきた。近年の外科手術の低侵襲化とそれを支援する医療機器において、外科医が使用する認知的手掛かりやヒューマンマシンインターフェイスの変化と課題について調査した。

2. 方法

①一般消化器外科・心臓外科・整形外科の手術において外科医が用いる認知的手掛かり(cue)について調査・検討した。

②現在、外科手術で使用されている医療機器のヒューマンマシンインターフェイスについて、河野による Vehicle-type (V), Process-type (P), Computer-type (C) の分類を用いて調査した。(表1)¹⁾

Type	Vehicle	Process	Computer
Physical law	○	○	✖
body feeling cues	○	△	✖
logical cues	✖	○	○
Interface	multi-physical cues	primary parameters	logical diagram
Examples	motorcycle aircraft	chemical plant electric power plant	computer

表1：河野のヒューマンマシンインターフェイス分類
1) 2) より引用、一部改変

3. 結果

①把持・切開・止血・縫合などの外科基本手技は、従来から触覚フィードバックを伴う視覚情報に基づいて行われてきた。これは今日の内視鏡外科手術でも同様であって、トロツ

カー挿入や血管穿刺時においても触圧覚が大きな役割を果たしている。ただし消化管器械吻合時には、ハンドル操作時の触覚とともに聴覚情報も、吻合の成否を判断する重要な cue である。胸骨鋸をはじめとする骨切開や液体吸引時にも、聴覚は触覚とともに視覚情報を補う cue として重要である。壊死・感染・熱傷の情報としては視覚とともに嗅覚も臨床上重要な cue である。

②医療機器の操作インターフェイスを Vehicle-type (V), Process-type (P), Computer-type (C) から分類した結果、手術に直接使用する医療機器は圧倒的に Vehicle-type が多かった。(表2)

手術機器	インターフェイス分類
麻酔器	V+C
患者モニタ	V+P+C
超音波診断装置	V+C
輸液ポンプ	P
鉗子類	V
電気メス	V(+P)
超音波手術器	V(+P)
電子内視鏡	V(+C)
手術用ロボット	V(+C)

表2：手術機器の操作インターフェイス

外科医への医療機器側から情報提供の大半は視覚情報が占めている。電気メスや超音波凝固切開装置などのエネルギーデバイスでは聴覚フィードバックを併用する機器もあるが、デバイスの出力状況を伝達するものにすぎない。手術用マニピュレータの実験機では触圧覚情報を直接術者に呈示したり、聴覚信号とに変換して呈示するものもあった。しかし現時点において、商業機では触覚フィードバックを採用したものは一般的でない。

4. 考察

近代以前から手術は、外科医の五感をフルに活用して行われており、これは電気メスなどの医用電子機器が開発された近代外科においても同様である。

1990年代初頭に登場した内視鏡外科手術は、体壁に設けた5mm～10mmの数カ所の小切開孔から細径手術機器と内視鏡を挿入し、体外のディスプレイを見ながら手術を行うものである。最小限の手術創で従来の手術を実施可能という患者への恩恵もあって急速に普及した。(図1)

図1：内視鏡外科手術の光景（東京大学外科）

しかし「狭小な作業空間で五感制限下の遠隔操作」を余儀なくされる内視鏡外科手術は、外科医に高度な技術を要求し心身双方の高負荷を与えるという欠点がある。

このような欠点を克服するために種々の手術支援機器開発が促進された。1990年代の急速なICT技術進歩の恩恵もあって、内視鏡外科手術のための画像支援機器とナビゲーションシステムは急速な進歩を遂げた。また従来の縫合・結紮手技などを代行できる種々の手術用エネルギーデバイスや自動縫合器なども開発された。

しかし外科医の五感を認知的手掛かり（cue）として活用できた従来の手術に比べて、内視鏡外科手術は今日でも視覚情報のみにほとんどを依存している。触圧覚は制限され、その他の嗅覚・温度覚・聴覚などは完全に犠牲にされており、これは現在世界中に普及した手術用ロボット（図2）でも同様である。

1995年から2018年の間に日本コンピュータ外科学会誌ならびに同学会で発表された先進医療機器について、ヒューマンマシンインターフェースの観点から調査したところ、力覚フィードバックに関する演題と論文は(シンポジウムなどでの重複を含め)50件強存在したが、他は聴覚2件、嗅覚1件程度であった。

今後の手術支援システムの研究開発においては、生体と手術機器間の相互作用のリアルタイムな

「可視化」技術のみならず、聴覚・触覚・嗅覚などに関する集学的センシング技術と統合的提示方式の追求も重要である。

一方で人間の五感以外の情報を活用することも重要である。種々の蛍光発光・光干渉断層像

(OCT)・超音波・レーザ光・短波長狭帯域光など可視光以外を利用した画像提示法はすでに実用化され、実画像との重畳表示も試行されている。

聴覚フィードバックについては、血流・アイソトープ・生体染色や患者のバイタルサインなどの生体情報を、聴覚信号も併用して呈示することも有用である。嗅覚情報としてはバイオセンサ・化学センサなどの活用により、人間の嗅覚を越えた嗅覚センサー・化学センシングが期待される。

患者と医療機器の情報のみならず、執刀医自身の心身双方のバイタルサイン・ストレスサインも含めた統合的な手術モニタシステムの開発も重要である。さらにこのようなデータをAI解析することにより統合的に手術の安全性と戦略呈示を支援するAI化手術システムへの発展も期待される。

図2：手術用ロボット（da Vinci Surgical System-SiTM, Intuitive Surgical 社）

参考文献

- 1) 河野竜太郎：人間の認知特性を考慮したヒューマンマシンインターフェイス設計について、航空運航システム研究会雑誌, Vol. 16, pp8-25, 2000.
- 2) 篠原一彦 他：マン・マシンインターフェイスからみた内視鏡外科臨床における自動化状況、日本コンピュータ外科学会誌, Vol. 3 (1), pp30-32, 2001.
- 3) 篠原一彦：内視鏡外科手術機器, 医用治療機器学（第二版）, pp196-202, 医歯薬出版, 2018.