

東邦大学学術リポジトリ

Toho University Academic Repository

タイトル	特別講演(第161回東邦医学会例会) 8K超高精細内視鏡手術およびその画像遠隔伝送の国際標準化
別タイトル	161st Regular Meeting of the Medical Society of Toho University Project Special Lecture International standardization of remote transmission of 8K ultra high definition video assisted surgical images
作成者(著者)	千葉, 敏雄
公開者	東邦大学医学会
発行日	2023.09.01
ISSN	00408670
掲載情報	東邦医学会雑誌. 70(3). p.98-101.
資料種別	学術雑誌論文
内容記述	総説
著者版フラグ	publisher
JaLCDOI	info:doi/10.14994/tohoigaku.2023-012
メタデータのURL	https://mylibrary.toho-u.ac.jp/webopac/TD16421469

総説

8K 超高精細内視鏡手術およびその画像遠隔伝送の国際標準化

千葉 敏雄^{1,2)}¹⁾一般社団法人メディカル・イノベーション・コンソーシアム²⁾順天堂大学医学部

要約：我々メディカル・イノベーション・コンソーシアムは、8K 超高精細硬性内視鏡（以下、8K 内視鏡）手術の臨床的導入を経て、医療現場で実用可能な8K内視鏡カメラの超小型軽量化に成功した。8K内視鏡は従来の2Kハイビジョン内視鏡の約16倍という高い解像度を有することから、これまで視認困難であった術野の重要な細径血管・神経等また体腔内臓器の複雑な被覆膜構造等の識別も可能とし、内視鏡手術の手技および手術成績の有意な向上、さらには術後経過および医療経済的効果の改善が見込まれている。一方、我々が国連機関である国際通信連合ITUに提案した8K医療画像遠隔伝送系の標準化提案は国際標準勧告案として正式に採用され、8K医療画像はいわゆるオンライン遠隔医療を進める新技術としても期待が寄せられている。従ってこの領域は、今後さらに広汎な展開を期待できる。

東邦医会誌 70(3) : 98-101, 2023

KEY WORDS : 8K ultra-high definition endoscopic surgery, remote transmission of 8K medical images, international standardization

緒言：画像技術は放送から医療へ

8K、いわゆる“スーパーハイビジョン”と呼ばれる ultra-high definition (UHD) の超高解像度を提供しうる硬性内視鏡システムは、放送用技術として8K超高精細画像を開発していたNHK技術部門とともに、我々が世界で初めて開発したものであり、その実用化は2014年の臨床的内視鏡手術への導入に始まるものである。8K UHD画像の画素数は約3,300万と、医療画像における現時点での主流である2Kの約16倍であり、その換算視力は、2Kの1.1に対し、ヒトでの生理学的な限界を大きく超える約4.3とされている。この超高精細内視鏡手術にて得られた重要な成果の一つは、これまでの解剖学における教科書的知見を明らかに変えるものであった。これらの新しい解剖学的知見の集積は、内視鏡手術の手技・成績の向上とあわせ今後大いに注目されるものである。本稿では、8K UHD画像医

療（以下、8K医療）開発の経緯と現状および今後につき、8K医療画像遠隔伝送系に関する国際通信連合ITUによる国際標準勧告案とも合わせて述べる¹⁻³⁾。

**医療センサ技術の進化：
医療と他領域における違い**

上記8K内視鏡開発の中核的技術は、8Kセンサの開発とその導入にある。センサとは一つの電子回路部品であり、その機能とは、生体活動・ロボット作動等において、特定の対象から取得されたさまざまな化学量ないし物理量（機械的、光学的、電気的、磁氣的、熱的、音響的等）のうち、ある選択された特徴量を至適な科学的原理により扱いやすい別媒体の信号（主に電気信号）に変換して検知・計測することにある。これらセンサは、その技術の進歩により近年飛躍的な発展を遂げ、今やあらゆる領域で日常的にかつグローバルに用いられる中核的回路素子になっている。こ

1) 〒107-0052 東京都港区赤坂4-13-5 赤坂オフィスハイツ268号
2) 〒113-8421 東京都文京区本郷2丁目1番1号
受付：2023年5月26日

DOI: 10.14994/tohoigaku.2023-012
東邦医学会雑誌 第70巻第3号, 2023年9月1日
ISSN 0040-8670, CODEN: TOIZAG

れら多種多様なセンサを医療・ヘルスケアのために適用する場合は、何よりもまず侵襲性が少ないことが求められる。この意味では、体外から体内の情報を非侵襲的に取得できる生体断層像取得センシング機器等、いわゆる画像診断機器（CT、MRI、超音波、内視鏡など）に実装されるイメージセンサ（固体撮像素子）はその代表的なものといえる。

1. 医療用センサデバイスとしての硬性内視鏡

広義の医療・ヘルスケア用センサに求められる非侵襲性を実現するためには、基本的に体外から体内情報を得ることのできるセンシング技術が望まれる。その実現には多くの場合、上記の生体断層像取得センサが用いられているが、人体に生理的に備わる開口部（口腔、肛門管など）を介する消化管内腔も“体外腔”の延長であることから、半導体センサ（CCD等）が実装された上部・下部消化管用電子ビデオスコープも、基本的に体外から体内の情報を取得するセンサデバイスといえる。一方、腹腔等への細径の体壁開口を外科的に確保し、体外から体内の情報をリアルタイムに取得して行われる硬性内視鏡手術（いわゆる鏡視下手術）も、被挿入光学視管の術者手元のカメラヘッドにイメージセンサが搭載された半導体センサデバイスといえる。この硬性内視鏡システムでは、腹腔・胸腔等における臓器・組織・体液などの術野からの光学情報（光信号）は内視鏡光学視管の術者側手元に搭載された内視鏡カメラヘッド（イメージセンサおよびその駆動回路を搭載）により受光され、さらに電気信号へと置き換えられる。このような硬性内視鏡手術は、開腹・開胸などの従来手術に比べ有意に低侵襲性な手技とはいえ、全身麻酔の必要性等において軟性内視鏡手技に比べれば明らかにその侵襲性は高い。従って、硬性内視鏡手術に用いられる内視鏡システムの高機能化を図ることは、この手術の意義を大きく高めるものといえる。

2. 硬性内視鏡の8K 超高精細化

我々は、この硬性内視鏡手技に伴う侵襲性をカバーし、一定の優位性を確保するために、その術野画像の超高精細化に取り組んできた^{1,2)}。すなわち、術者に現在標準の2Kではなく8Kの画質を与え得る8K硬性内視鏡の開発、およびその臨床への導入である。その場合でも、術者はカメラコントロールユニットと映像信号ケーブルで接続されたモニタ上の画像を観察することになるが、この画像技術の利点を最大限に活かすべく、8K硬性内視鏡手術ではその手術室内光景は、従来の2K内視鏡手術におけるものとは大きく異なっている。すなわち、8Kでは画素数が極めて大きいことから、これをベストな画質で観察するには大画面かつ近接での利用が勧められる。

1) 8K内視鏡カメラの超小型軽量化

2014年に世界初の臨床的8K内視鏡手術で用いられたカメラヘッドは、本来放送用のものであったため、現在の標

準である2K内視鏡のカメラヘッドに比べその10倍程度の重量（約2.5kg）を有していた。そのため、我々は、片手でも長時間安定して保持できる約450gの超小型軽量8Kカメラヘッドの開発を行った。この超小型軽量化を達成しえた主な理由は、①放送用に開発されていたカメラを機能的に検討し、内視鏡用に特化した機能のみを選択して簡素化を行ったこと、②内蔵される主な部品（基板・モジュール等）のサイズを可及的に小型化したことなどにある。この後者の理由において特記すべき点は、8KイメージセンサとしてSuper-35mmの単板CMOS（ベイヤー配列デュアルグリーン方式、画素サイズ $3.2\mu\text{m}\times 3.2\mu\text{m}$ 、画素数 $7,680\times 4,320$ ）を選択したことが挙げられる。さらに、課題となっていた稼働中の8Kカメラ筐体の高温化（8Kカメラ専用各種基板の高い消費電力による過剰な発熱）に対し、効率のよい冷却法を開発したことも挙げられる。この冷却法として我々は非金属材料で軽量化された筐体が一切放熱しない空気循環機構（筐体に連結されたチューブとポンプを用いるファンレス冷却構造）を採用した。このように各種の新機構を組み合わせることで、我々は臨床現場でも使用できる超小型軽量8K内視鏡カメラを実現し得た。

2) 8K内視鏡画像の視覚的特性

8K硬性内視鏡手術において用いられる8Kモニタ画面の画素数は約3,300万（縦 $4,320\times$ 横 $7,680$ ）と、2K・4Kの各々200万画素・800万画素に比べ圧倒的に多く、従って8K画像は極めて高い解像度を有している。その結果8K画像は、あたかも被写体を直接自分の目で見ているような視覚的感覚をモニタ画面上で提供するものとなっている。すなわち、この8K画像の導入によりヒトは初めて、映像の世界にありながら、実際の現場において自分で対象物をみているがごとき自然な感覚（臨場感、実物感、立体感）を得ることができるようになった。この意味で、ヒトの目は本来8K相当とも言える。そしてこの点が、従来の2K・4Kという放送用映像と8K画像とが大きく異なる点であり、眼精疲労もずっと少ないとされる所以である。2K・4Kと8Kとの間に存するこの“臨場感”の差異は、心理物理学（psychophysics）の領域で指摘されてきた心理的効果により説明できるものとされている。ただし、8Kを超える16K以上では、脳における視覚処理機能の生理学的限界等から、それ以上に臨場感が高まることはなく、この意味で8Kは“究極の解像度”ともいえる。この8K硬性内視鏡システムでは、8K CMOSイメージセンサが賦与する“自然な視覚”（超高精細画像）を数値的に表すことは困難なことから、2Kと比較した8Kの見え方は、しばしば視力（視野角1度の中に見える画素数に基づいて算定）によって示され、2Kの視力を1.07（＝視野角1°あたりの画素数約60個）として、8Kの視力は4.27（＝同じ意味で約270個）と

表現することができる。以下、8K 硬性内視鏡の臨床的応用とその結果を紹介する。

3. 8K 内視鏡の臨床現場への導入：超高精細画像が変える外科解剖学

臨床的には、これまでに国内で1,000例を超える8K 硬性内視鏡手術が施行され、その結果をもとに本内視鏡システムの改良が積み重ねられてきた³⁾。これらの臨床例における術者の体験から得られた知見として注目されることは、8K 内視鏡術中の術野観察により、これまでの肉眼解剖学的知見が変わる可能性である。たとえば、2K 内視鏡では視認困難であったと考えられる、胸腔内大血管を被覆する膜構造が、8K 内視鏡で見た場合、それまでの肉眼解剖学教科書に記載されていた単層ではなく数層以上の多層から成っていたというものである（これは2K では視認困難）。そして、これら層状・複数の膜被覆構造が視認できることで、最内側・最外側膜の間に介在する膜間スペースを困難なく外科的に剥離することが可能となり、手術の目標、すなわち大血管に強固に癒着した食道がん組織の全切除および大血管壁の損傷回避とが、同時かつ円滑に達成し得たとするものである。子宮がんの開腹手術にこの8K 内視鏡を exoscope として併用した際には、骨盤内の自律神経の走行、特に骨盤神経叢から膀胱に分布する自律神経枝が細部に至るまで明瞭に視認され、併せてその損傷を避けることができる。また骨盤内手術の領域では、膀胱の機能上重要な細神経枝の分布・走行が術中、明確に識別・追跡され、それらの神経枝と膀胱機能温存による術後長期の QOL 改善が達成されたとする報告もみられている。

4. 8K 内視鏡観察による肉眼解剖学（“8K 解剖学”）

我々のご献体（女性）の肉眼解剖において、exoscope として8K 内視鏡観察を併用し、初めて詳細な“8K 解剖学”的検討を試みた⁴⁾。この際にもやはり、極細径血管の走行が再認識され、さらに骨盤神経叢の腹側縁から子宮や膀胱に向かう神経枝までもが明瞭に視認し得ている。従って、8K 内視鏡は骨盤内等の自律神経走行を明瞭に提示し、自律神経温存広汎子宮全摘術等における術中の切断ライン決定にも極めて有用と考えられる。

以上、8K 硬性内視鏡手術の臨床への導入、および“8K 解剖学”の可能性につき、その経緯・現状を述べてみた。今後この領域では、より多くの知見集積とそれらの解析・検証に基づくさらなる展開が期待される。

8K 画像の医療展開に求められる今後の技術要素

8K 医療画像の展開においては今後、肉眼ないし現状の2K では識別困難な術野細部を一層高い精度で表示する8K 解像度（画素密度・分解能）を実現するため、現状の性能を大きく超える至適なレンズ光学系や画質劣化を最小限に止める画面拡大システム（光学・電子ズーム等）の開発・

導入、さらには視野角以外のシステム設計も併せ行い、個々の画素を画面上一層識別しがたいものに対する研究・開発を進める必要がある。さらに“4.27”というヒトの生理的限界を超える視力に映し出された画面被写体を正確にAIで自動判定するなど、さまざまな新たな課題の解決も求められる。

これと並び重要なことは、一つのデジタル情報である8K 画像は、パソコン、スマートフォンなど院内外の多様なデジタル機器が構成する相補システムとさらに融合・統合され得るということである。すなわち、8K 画像が、ウェアラブルデバイスを含む“モノ同士”ないし“モノ・ヒト間”のインターネット（IoT）における高精度の構成要素となり、同時に、各種ロボットなどの機器・デバイス系においても、内部の知能制御系・情報伝達系（生体における中枢神経系に相当）および外部の駆動・構造系（生体の筋骨格系・四肢などに該当）と一体となって自律的に連携し、システム内外事象における“知覚して稼働するIoT”を構成すると考えられる。

従って、8K 医療画像技術は、今後も進化する伝送システムとともに、遠隔オンライン医療・手術などにおける“ゲームチェンジャー”になると考えられる。この場合、かかる革新的画像情報を今後のICT 領域において普及させるうへでは、医療情報の秘匿性・安全性を確実にする“耐”量子計算機暗号化システムの導入も、できるだけ早い段階から検討する必要がある。これは、次世代スーパーコンピュータなど最新の情報セキュリティさえも近い将来、確実に不十分なものになるためである。

1. 8K 高速遠隔伝送系の医療への導入

NHK により開発されてきた8K 画像技術は本来、“放送”のための技術である。一方、我々が手掛けてきた“8K 医療”は、今後、広汎な普及を遂げてゆく遠隔医療に結びつくものでもある。従って、早急に解決すべき課題は必然的に、8K 遠隔医療技術の開発とその標準化といえる。そこで我々は、国際通信連合ITU に対し、8K 医療画像遠隔伝送のための通信手段に関する提案を行い、その内容は国際標準勧告案として2018年に公式採用された⁴⁾。以下その概要を述べる。なお、この多岐にわたるシステムを構成する他の個別的要素（e.g. 5G 等の無線/有線、専用/一般回線、インターネット/放送用ケーブル/衛星回線、およびそれらの周波数帯域、高速プラスチック光ファイバーの導入など）についての詳細は他書に譲る。この国際標準勧告案は、主に8K 内視鏡手術画像の国際展開を視野に入れ、その広域の遠隔伝送ネットワークとそこに求められる構成要件を規格化したものである。

2. 8K 医療画像（特に硬性内視鏡）遠隔伝送システムの国際標準勧告案（国際通信連合ITU）

この標準勧告案においても、本稿で既に述べられた硬性

内視鏡システムの各構成要素、すなわち、データの取得/入力系（光学レンズ系、カメラヘッド、カメラコントロールユニット、ビデオエンコーダ、メディアコンバータ）、データ出力系（メディアコンバータ、ビデオデコーダ、ビデオシグナルコンバータ、UHD ディスプレイ）について触れられている⁴⁾。さらにこれら入力系・出力系双方をつなぐ IP ネットワーク等の介在が前提とされている。その全体を構成する具体的要素は主に以下の7つである。①IP ネットワーク、すなわち複数のネットワークを横断的に結ぶ相互通信プロトコルに基づく外部遠隔送受信システム（主にインターネット）、②動画コーデック（Video codec）システム、すなわち圧縮/非圧縮フォーマットが導入された IP コネクション、および動画データの圧縮・復元装置ないしソフトウェア、③IP インターフェース、すなわちネットワークの通信機能を利用するソフトウェアおよび OS、およびそれらに基づく装置・規約、④OSI 通信ネットワーク階層モデルの最下層、すなわち物理層（physical layer）に実装されている装置・伝送媒体、およびネットワーク間の接続インターフェース、⑤送受信遠隔端末間において一定の範囲内におさまる画像伝送遅延時間（特にリアルタイム性が求められる内視鏡手術等）、⑥信号データのカプセル化（encapsulation）、すなわち通信システム外からシステム内の情報・構造へは直接アクセスができないこと、⑦“前方誤り訂正機能”（forward error correction）が実装されており、送信側が記録・伝送したデータの変質・脱落等の誤りを、受信側が読み出し・復元する際には、予めそれらの誤りが訂正されたデータが得られることである。

かかる通信システムの設計に際しては今後、インターネット等を介したデータ通信における遅延および画質劣化防止のため、より高度のデータ圧縮機能・より大きい回線容量が賦与されることが望まれる。さらに、同じ“医療データ”にあっても、通信伝送に求められるリアルタイム性は決して画一的なものではなく、対象となる医療領域（硬性内視鏡手術、オンライン診療など）に応じて最適化できることも必要であろう。最後に、今後の 8K 医療データの遠隔通信・伝送系においては、高速・大容量通信システムでありながらもアクセスが容易であること、また高い情報秘

匿性（セキュリティ）が保障され、突然の通信回線停止などの突発的事態に対しても安全性と代替システム整備が十分確保されていること（すなわち高い“フェールセーフ”性を有すること）、さらに可及的に低消費電力・低価格であること等が求められるよう。

結 語

超高解像度の 8K 硬性内視鏡は、我々が世界で初めて開発し、臨床の現場でその機能的実証を重ねてきたものである。そして、この超高精細内視鏡手術により得られた重要な知見の一つが、これまでの肉眼解剖学の記載を変え得る可能性であり、このことは手術の手技・成績の進化に大いに寄与し得るものである。従って、かかる超高精細画像の医療への導入はひとり内視鏡外科手術にとどまるものではなく、日常のオンライン遠隔医療など、多様な医学領域においても大きく貢献し得るものである。このような視点から我々は、近未来の普遍的 8K 医療導入への道筋をつくるため、国連機関である国際通信連合 ITU に対し 8K 医療画像の遠隔伝送システムに関する国際標準化案を提案し、その内容は国連による勧告案として既に実効性のあるものとなっている。本稿では、8K 画像医療開発の経緯と現状、およびその今後につき概要を述べてみた。このような新しい医学領域の今後の大きな発展を期待したい。

Conflicts of interest : 本稿作成に当たり、開示すべき conflict of interest (COI) は存在しない。

文 献

- 1) Mori T, Aoki H, Chiba T, Yamashita H, Tanioka K. In: Takenoshita S, Yasuhara H, editors. *Ultrahigh definition (8K UHD) video system and video-assisted surgery in the near future, surgery and operating room innovation*. Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2021.
- 2) 山下紘正, 谷岡健吉, 千葉敏雄. 8K スーパーハイビジョンの医療応用. 電子情報通信学会誌 2017; 100: 1100-5.
- 3) 千葉敏雄, 谷岡健吉. 8K 硬性内視鏡システム: その過去, 現在, 未来. 看護理工学会誌 2019; 6: 43-9.
- 4) Framework for telemedicine systems using ultra-high definition imaging, 2022. <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=14945&lang=en>