

外科手術における ハイパースペクトルイメージングの活用

ウーター・シャルル、シリ・ルートマン、ローランド・ヴァンデブリール

ハイパースペクトルカメラは、物体の物理的特性に関する情報を、肉眼で識別できるよりもはるかに多く提供できるため、外科手術の用途に最適である。

ハイパースペクトルカメラは、対象物に光を照射し、その反射光を多数の狭いスペクトルバンド幅で捉えることにより、本来「不可視のものを可視化」する。

ハイパースペクトル技術は、精密農業（雑草防除や害虫監視など）から、産業用マシンビジョン（腐食検知や品質検査など）、環境モニタリング（原油流出やプラスチック廃棄物の発見など）に至るまで、すでに幅広い用途で利用されている。

ハイパースペクトルカメラは、現在、医療分野に革命的な変化をもたらしつつある。外科医が、組織の化学組成を分子レベルでリアルタイムの情報に基づいて診断し、動脈や血管を流れる血液の酸素濃度を確認したり、健康な組織と異常な組織（腫瘍細胞など）を生体内で区別したりすることが可能になるのだ。

このように将来を垣間見ると、ハイパースペクトル技術は想像以上に身近なものである。しかし、ハイパースペクトルセンサやカメラが過去数年間で飛躍的に進化した一方で、この技術が外科手術にそのまま活用されるには、まだ数々の制限が存在する。その要因の1つは、一般的に装置が非常に大型なため、スペースが限られる無菌領域の手術室には適さない点だ。もう1つの要因は、病院の厳格な臨床ワークフローに組み込むことが至難の業である



図1 小型形状と標準Cマウント光学系との互換性により、imec製SNAPSCANカメラは標準の手術用顕微鏡に容易に搭載できる(写真提供:imec)

点だ。

最近の研究プロジェクトでは、このような課題に真摯に取り組んだ。その取り組みとは、ハイパースペクトルイメージング技術を使用して、低悪性度神経膠腫（脳腫瘍の一種）を生体内で検出できるかという可能性を探るものである。この検出は、訓練を受けた経験豊富な外科医でさえも困難な作業である。

低悪性度神経膠腫の 生体内検出への考察

低悪性度神経膠腫は、脳の内部に発生する。これは若い患者、もしくは健康な患者に発症することが多い。一般的に、本来は良性腫瘍と考えられているが、この腫瘍細胞は年間4~5mm

の速度で拡大し、悪性転化のリスクを伴うことが研究で示されている。腫瘍の生体内検出および正確な境界を特定することは、外科用顕微鏡を使用しても非常に困難である。しかし、現状では、低悪性度神経膠腫の早期外科的切除が非常に望ましい治療法である。

低悪性度神経膠腫は、一般的な蛍光法では検出されにくい。そのため、腫瘍を切除する前には、磁気共鳴画像（MRI）検査やコンピュータ断層撮影（CT）検査を行う必要がある。しかしこのような検査では、腫瘍の正確な境界を特定できず、大まかな関心領域を特定できるにすぎない。

外科医療において、生体内で内在性脳腫瘍を検出するための適切なツール

を使用できることは、大きな進歩となる。そして、ハイパースペクトルイメージング技術が、その実現への大きな可能性を示している。ベルギーのimec製SNAPSCAN VNIR 150ハイパースペクトルカメラを標準の手術用顕微鏡に搭載したことは、画期的な進歩である。小型仕様の同カメラでハイパースペクトルデータが生成され、生体内の低悪性度神経膠腫の検出が実現しうることが証明された。次のステップは、こういったデータを深層学習ニューラルネットワークに入力することにより、健康な組織と異常な組織に関する貴重な知見を得ることだ。

小型形状と高精度の両立

imec製のSNAPSCAN VNIRカメラ(図1)は、小型形状(10×7×6.5cm)、軽量(645g)、標準Cマウント光学系との互換性により、手術用顕微鏡に容易に搭載できる。小型仕様の同カメラは、これまでの研究で使用されていた大型システムとは異なり、病院の厳格な臨床ワークフローに組み込むことができる(図2)。

imecの研究者らは、システムとデータの両方の前処理方法に最小限の変更を加えて、(無菌の)術中環境下で関連データを取得することに着目した。そのためには、カメラの既存の空間・分光キャリブレーション方法を再検討し、手術用顕微鏡の光学系や光源とカメラを直接接続する必要があった。

照明も重要なパラメータとして考慮された。過剰なノイズを回避するため、同研究者らはSNAPSCANカメラのスペクトル範囲を顕微鏡の内部光源と一致するように調整した。また、撮像システムの積分時間モダリティも検討し、システムのイメージングパラメータを最適化しながら、飽和とノイズの



図2 手術室に設置されているimec製SNAPSCANカメラ(写真提供:imec)

最適なバランスを見出した。

リアルタイムの腫瘍分類を行うための高速ハイパースペクトルイメージング

imecの同研究プロジェクトにおいて、高性能の手術用顕微鏡と接続して必要なハイパースペクトルバンドを特定し、低悪性度神経膠腫の生体内分類を行うことができた。未見のデータから低悪性度神経膠腫の存在を80%の精度で検出できる基本的なアルゴリズムが開発され、大きな前進となった。

確かに、同カメラ一式を手術中に使用することは時期尚早である。これまでのところ、この手法は、ベルギーのルーヴェン大学病院で6人の患者の臨床データセットを使用して試験に成功した。この有望な結果は、高速ハイパースペクトルイメージングに移行す

るための基盤となり、低悪性度神経膠腫のリアルタイム検出に向けて、さらなる研究が可能になる。

本研究は、独カールツァイスメディテック社(Carl Zeiss Meditec)とベルギーのルーヴェン大学病院との共同で実施され、その結果はSPIE BIOS 2023(国際光工学会主催のバイオメディカル光学国際学会)において、以下の論文として発表された。

- ・既存の術中環境におけるハイパースペクトルイメージングの統合による内在性脳腫瘍検出、R.ヴァンデブリール氏(imec所属、<https://tinyurl.com/yzvurvxk> 参照)
- ・深層学習で最適化されたハイパースペクトルイメージングによる手術中の脳腫瘍検出、X.ツァン氏(カールツァイスメディテック社所属、<https://tinyurl.com/bddnmerck> 参照)

著者紹介

ウーター・シャルル(Wouter Charle)は、imecのスペクトルイメージング・オンチップ活動のプログラムマネージャー。シリ・ルートマン(Siri Luthman)は、同機関の研究開発エンジニア。ローランド・ヴァンデブリール(Roeland Vandebriel)は、同機関のフィールドアプリケーションエンジニア。

e-mail: wouter.charle@imec.be siri.luthman@imec.be roeland.vandebriel@imec.be

URL: www.imec-int.com

LFWJ