

主論文の要旨

**Generation of magnifying endoscopic images of
gastric neoplasms based on an all-in-focus algorithm**

〔胃腫瘍における全焦点アルゴリズムに基づく拡大内視鏡画像の生成〕

名古屋大学大学院医学系研究科 総合医学専攻
病態内科学講座 消化器内科学分野

(指導：藤城 光弘 教授)

松井 健一

【緒言】

内視鏡による消化管の観察は消化管蠕動や呼吸変動や心拍動などにより対象物が容易に移動するため、完全に焦点のあった画像を撮像するには術者の経験および高度な技術を要する。近年、消化管疾患の精密検査として行われる画像強調観察＝IEE (image-enhanced endoscopy)を併用した拡大内視鏡観察は内視鏡先端に付いた光学レンズで被写体を内視鏡用モニター上で80-120倍程度まで拡大し、表面の微細粘膜模様や毛細血管像の観察を可能にする方法であり、診断精度の向上に寄与している。しかし、拡大内視鏡観察は拡大率を上げると光学的特徴により焦点深度が非常に浅くなり、凹凸があると焦点が合う領域が狭くなる。更に対象物が動く場合、画面上での動きがより大きくなり焦点を合わせにくくなる。内視鏡による消化管粘膜の観察は多くが真正面からではなく、斜めもしくは接線方向からである。よって拡大内視鏡では観察対象領域の奥行きや凹凸の影響で焦点の合う部分と合わない部分が生じる。そのため、内視鏡医は複数の撮像画像の焦点のあった部分を組み合わせることで画像を評価しており、撮影技術と診断は多くの経験と知識が必要とされる。これらの観察上の問題を克服するためには焦点深度や被写体のブレなどの拡大観察による欠点を補正可能な観察補助システムが求められる。既に工学領域では顕微鏡画像を対象とし、Depth from focus理論を用いて、焦点距離を変えながら撮像された画像から全ての面に焦点の合った画像である全焦点画像の生成に成功しており、この技術の内視鏡観察へ応用は拡大観察画像による診断精度の向上が期待できると考えた。本研究の目的は、内視鏡検査における焦点深度の浅さ・観察範囲の狭さに起因する診断能の低下を克服するべく、内視鏡画像に対して工学的な全焦点アルゴリズムを応用した全焦点拡大内視鏡画像を作成し、その有用性について検討することである。

【対象及び方法】

2016年1月から2017年4月の間に行った胃腫瘍の精査内視鏡検査のうち、手術もしくは内視鏡治療による病変摘出術が予定され、研究に同意が得られ前向き登録を行った20症例(早期胃癌：16例、胃腺腫：3例、NET：1例)を対象とし、画像強調併用拡大内視鏡で約60秒間動画撮影した。得られた画像を演算処理し、合焦精度の指標であるIQM (Image Quality Measurement)値の高い画素を抽出することで全焦点アルゴリズムに基づく拡大内視鏡画像を作成し、元画像と比較検討した。事前情報を知らされていない3名の内視鏡専門医により、焦点が合う領域・MV (微小血管構築像)パターン・MS (表面微細構造)パターンの3項目の認識の優劣を、処理画像の方が高評価/低評価の場合は+5～4点/+2～1点、どちらとも言えない場合は3点とした5段階のリッカート尺度で評価した。加えて、評価者間の信頼性をICC (級内相関係数)で検討した。また、元画像と処理画像のIQM値から焦点の合う領域(IQM1500以上)の割合をそれぞれ計測した。

【結果】

内視鏡専門医によるリッカート尺度での評価は、焦点が合う領域では 4.78 ± 0.45 点、MV パターン 4.12 ± 0.76 点、MS パターン 4.72 ± 0.52 点、とすべての項目において処理画像の方が有意に優れていた(いずれも $P < 0.0001$)。ICC は、焦点の合う領域で 0.630、MV パターンで 0.696、MS パターンで 0.452 と前二者で良好な信頼性を伴っていた。焦点が合う領域のスコアは使用した内視鏡(H260Z または EG-L600ZW)や病変の肉眼型(0-IIa または 0-IIc)の違いではともに有意差は認められなかった。IQM 値の中央値は元画像 57.6%、処理画像 84.0%と、すべての症例で元画像より焦点が合う領域の広い画像を作成することが可能であり、生成画面上でも合焦領域の明らかな増加が見られた。

【考察】

本研究は工学的な全焦点画像生成技術を画像強調併用拡大内視鏡観察に応用した、我々の知る限り初めての報告である。工学分野における全焦点画像生成技術は動きのない静的なものを対象としているのに対して、本研究では、呼吸性変動や内視鏡操作の手ブレなどによる動的な環境下で本技術を応用した。それにより、これまで一部のみ焦点の合った複数の撮像画像を内視鏡医が頭の中で構築していたのに対して、より焦点の合う領域を動的に組み合わせることが可能となった。過去に、共著者でもある工学研究者のグループが、画像強調機能を用いない通常の白色光弱拡大内視鏡画像を用いて、全焦点画像の生成が可能であったと報告をしている。今回の検討では、全焦点アルゴリズムに基づいた内視鏡画像の有用性について医学的・工学的の双方からの評価を行うため、専門的・客観的な検討を行った。IQM 値はすべての症例で上昇が見られ、画像強調機能併用拡大内視鏡に対しても、合焦領域の広い画像を生成することが可能であった。

光学的拡大に伴う焦点深度の浅さは、画像強調併用拡大内視鏡観察において胃内で焦点の合った画像を得る障害になる。しかし、全焦点画像生成技術により拡大内視鏡を用いて取得した観察画像がより焦点の合ったものに変換され、表面構造・血管構造が従来の画像と比べ評価しやすくなる。我々の検討では、3 名の内視鏡専門医による専門的評価において、焦点が合う領域・MS パターン・MV パターンのいずれの項目でも有意に優れていた。

画像強調併用拡大内視鏡観察は、経験と技術を要するため一部の専門医のみにより行われる高度なものと位置づけられているが、全焦点アルゴリズム技術に基づく画像生成方法により広く標準的な検査法として普及する一助になり、胃癌の治療に寄与する内視鏡診断精度を改善しうる。

将来的な展望としては、endocytoscopy や共焦点内視鏡での観察と組み合わせること、より観察精度が上昇することや、人工知能(AI)を用いた自動診断技術の支援など、現在、実臨床への導入が始まっている新しい内視鏡診療への応用も期待される。

【結論】

本研究では、全焦点アルゴリズムを消化管拡大内視鏡画像に応用することで、MV/MSの評価しやすい画面全体に焦点の合った拡大内視鏡画像を生成出来ることが確認できた。