

多様で低侵襲な胆膵内視鏡診断・治療に対応した透視をめざして

– FAiCE-V NEXT STAGE2 の有用性 –

Usefulness of FAiCE-V NEXT STAGE2 for various less-invasive endoscopic procedures for pancreatobiliary diseases

中井陽介 Yousuke Nakai^{1,2)} / 木暮宏史 Hirofumi Kogure²⁾

小池和彦 Kazuhiko Koike²⁾

1) 東京大学医学部附属病院 光学医療診療部

2) 東京大学大学院医学系研究科 消化器内科



中井陽介

ABSTRACT

胆膵疾患に対する内視鏡診断・治療は、その低侵襲性から広く応用されるに至っており、以前から主流であった ERCP (Endoscopic retrograde cholangiopancreatography) だけでなく、近年では interventional EUS (Endoscopic ultrasonography) と総称される EUS を用いた治療も多岐にわたる手技が行われるようになった。これらの低侵襲内視鏡治療に対応するために、これまで用いてきた株式会社日立製作所製 FPD (Flat Panel Detector) 搭載 X 線透視診断装置 CUREVISTA^{*1} に、次世代画像処理エンジン FAiCE-V^{*2} NEXT STAGE^{*3} 2 (以下、FAiCE-V NS2 と示す) を搭載することによって、さらなる画質向上をめざした。特に、新しい手技である interventional EUS への対応に注目した画像処理である TARGET (The ARTificial intelligence based Guidewire Extraction and Tracking processing) や WOW (Wire Optimum Weighted processing) などの導入により、幅広い内視鏡手技への対応が可能となった。また、内視鏡と X 線透視画像を高画質で同時に録画できるハイビジョン透視録画装置 VC-2000 (以下、VC-2000 と示す) についても、バージョンアップにより複数系統の画像録画対応が可能となり、教育施設における内視鏡手技指導の有用性についても合わせて報告する。

Endoscopic management of pancreatobiliary diseases by ERCP (Endoscopic retrograde cholangiopancreatography) and interventional EUS (Endoscopic ultrasonography) is widely utilized due to its less invasiveness. X-ray fluoroscopic apparatus CUREVISTA^{*1} with FPD (Flat Panel Detector) manufactured by Hitachi, Ltd. equipped with FAiCE-V^{*2} NEXT STAGE^{*3} 2 (hereinafter, show the FAiCE-V NS2) has been utilized for those various endoscopic procedures. New processing techniques such as TARGET (The ARTificial intelligence based Guidewire Extraction and Tracking processing) and WOW (Wire Optimum Weighted processing) has been introduced to cover new interventional EUS procedures. Furthermore, the upgraded Hi-Vision Fluoroscopy Recording System, VC-2000 (hereinafter, show the VC-2000), which can record endoscope and fluoroscopy images simultaneously with high image quality, allows simultaneous recording of multiple channels, which is useful for education of endoscopic procedures.

Key Word: Interventional EUS, TARGET, WOW, Low Dose

1. はじめに

胆道・膵疾患に対する内視鏡治療は、従来 ERCP 関連手技

を中心に行われてきたが、最近では超音波内視鏡下胆管ドレナージ術 (Endoscopic ultrasound-guided biliary drainage: 以下 EUS-BD と示す) に代表される interventional EUS も普及しつつ

ある。EUS-BDは近年保険適応手技となったものの、専用のデバイスも少なく、まだ確立された手技とはいえ、安全面に注意して施行する必要がある¹⁾。

われわれの施設では、以前からCUREVISTA^{※1}を導入しており、2016年に最新の内視鏡治療手技に必要な画質向上と被ばく低減を目標に開発された高速画像処理エンジンFAiCE-V^{※2} NEXT STAGE^{※3}1(以下、FAiCE-V NS1と示す)へバージョンアップし、その臨床的有用性を実感していた²⁾。一方でEUS-BDに代表される新規の治療手技を安全に行うためには、さらに高画質かつ手技に最適化された画像の必要性を感じていた。そこで今回われわれは透視・撮影画質の改善を要望し、新高速画像処理エンジンFAiCE-V NS2が開発された。

本稿では、新画像処理エンジンFAiCE-V NS2の臨床における有用性と低侵襲治療環境への取り組みについて報告する。

2. 超音波内視鏡ガイド下インターベンション (Interventional EUS)

胆道・膵疾患に対する内視鏡診断・治療は、ERCPが中心的役割を果たしてきたが、術後腸管症例や十二指腸狭窄症例などのERCP手技が困難な症例も存在した。これまではERCP困難症例に対する代替治療として、経皮経肝胆道ドレナージ(Percutaneous transhepatic biliary drainage: PTBD)などの経皮的インターベンションあるいは外科手技が選択されてきたが、QOLが低下する、侵襲が大きいなどの理由で、近年ではinterventional EUSが選択される機会が増えている。

従来行われてきたinterventional EUSの一つである急性膵炎後液体貯留に対する超音波内視鏡ガイド下ドレナージでは、穿刺ターゲットが大きい、細かいガイドワイヤー操作が少ないなど、透視画像の果たす役割は大きくなかった。しかし近年ではEUS-BDや超音波内視鏡ガイド下膵管ドレナージ(EUS-guided pancreatic duct drainage: EUS-PD)など穿刺ターゲットが細い管腔である手技が増加しており、より詳細な透視画像が求められるようになった。

特にEUS-BDは、通常のERCPが技術的に困難な症例においてだけでなく、臨床的に有用性が高いと考えられる症例では、第一選択の手技として施行される機会も増えつつある。EUS-BDは、胃・十二指腸などの消化管と胆管の瘻孔形成を行い、ステントを留置するEUS-HGS (hepaticogastrostomy) やEUS-CDS (choledochoduodenostomy) と、経消化管的に胆管にアプローチした後に経乳頭的に処置を行うEUS-rendezvous (EUS-RV) やEUS-antegrade treatment (EUS-AG) に大別される。EUS-HGSやEUS-CDSは、膵癌・胆管癌などによる悪性胆道閉塞に対する胆道ドレナージとして行われることが多く、EUS-RVやEUS-AGは、それぞれERCPにおける胆管挿管失敗例、術後腸管症例における胆管結石治療として選択されることが多い。

その中でも、われわれの施設で多く行われている手技はEUS-HGSである。膵癌などによる悪性中下部胆道閉塞症例では、胆管だけでなく十二指腸への癌浸潤の合併も多い。このような症例においては、ERCPによる経乳頭的ドレナージ

が可能であっても十二指腸から胆道への逆流による胆管炎やステント閉塞が多いことが知られており、PTBDによるドレナージを必要とすることもあった。最近では、このような症例ではEUS-HGSと十二指腸ステントを併用することにより治療成績が改善することが知られている。ほかにも胃切除後を中心とした術後腸管症例における胆管結石など良性疾患においても、EUS-HGSによる胆道ドレナージやEUS-AGによる胆管結石治療の有効性の報告が増えている。

このようにEUS-BDでは多様な手技が行われるが、いずれの手技においても超音波内視鏡を用いて胆管を描出し、穿刺針で胆管を穿刺、胆管造影後に、ガイドワイヤーを胆管に留置するというステップは、ERCPにおける胆管挿管と同様、共通の不可欠なステップといえる。

Interventional EUSの特徴として、EUS-HGSなど、解剖学的に椎体と重なる位置での処置の増加が挙げられる。ERCPにおいても膵体尾部の膵管像あるいは肝門部胆管像の詳細な評価を行うために、体位変換により椎体との重なりを外すなどの工夫を行っていたが、interventional EUSでは、ガイドワイヤーを胆管に留置するというステップまでは、穿刺針を挿入した状態で処置が行われるため、体位変換が困難であり、interventional EUSに特化した透視処理の臨床的必要性を感じていた。

3. X線透視診断装置

(1) CUREVISTAの有用性

従来のX線透視診断装置では目的部位に視野を合わせる際に透視台のテーブルを左右に動かしたり、場合によっては患者自身を持ち上げて移動させたりする必要があった。その点、CUREVISTAでは2ウェイアーム(図1)により映像系(管球とFPD)のみの動きで縦横方向に視野を移動可能である。そのためERCPやinterventional EUSなど内視鏡自体や内視鏡から胆管・膵管へ挿入したカテーテル・穿刺針を留置した状態でも、患者と術者の位置関係を変えずに、安全かつ直感的操作で手技を継続して行うことが可能である。これは内視鏡やデバイスが不安定な状態では特に手技成功率に大きな違いをもたらす点である。

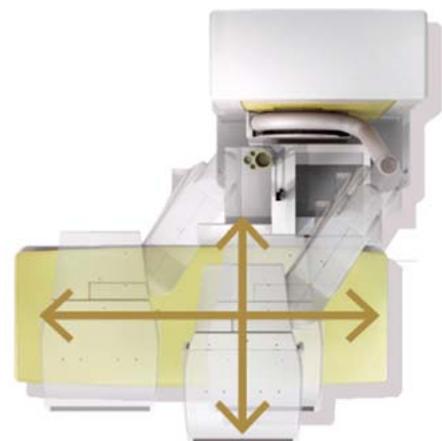


図1 CUREVISTA 2ウェイアーム

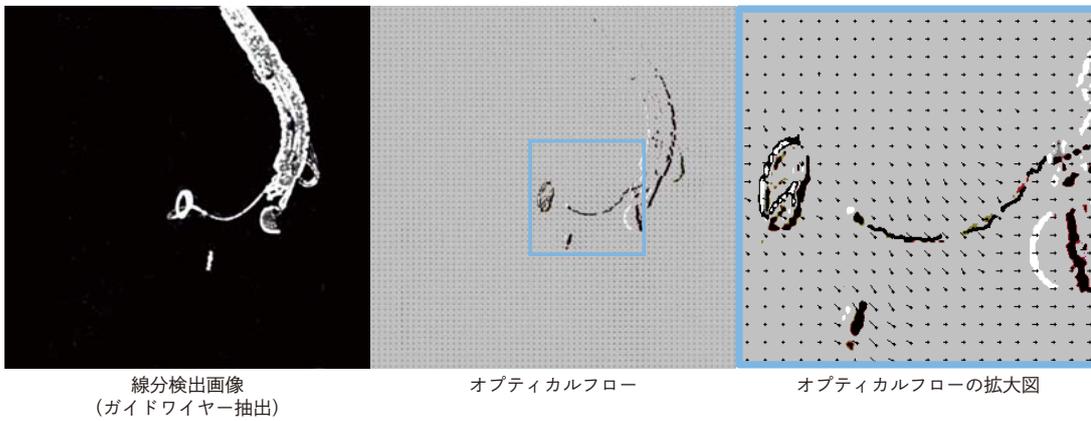


図2 TARGET原理

(2) 高画質化への要求

1) 透視画像

従来の画像処理エンジンからFAiCE-V NS1化したことにより、透視時の動きボケ(残像)が低減し、ガイドワイヤーやデバイスの視認性が向上、金属ステントのメッシュなどの細部が明瞭に見えるようになりFAiCE-V NS1化後はその臨床の有用性に満足していた。しかしながら、胆膵内視鏡治療における日々の進歩に対する改善と、ガイドワイヤー操作などが椎体に重なることも多いEUS-BD手技にも対応できる透視画像処理が必要であると考え、改良を要望した。

2) 撮影画像

ガイドワイヤーやステント、造影剤使用後の胆管の描出などに対してさらに視認性の高い撮影画像が必要になってきている。また、透視画像のマップ像として使用する撮影画像の視認性が向上することで透視時間の短縮にもつながると考え、透視画像と同様に改良を要望した。

(3) 透視低ノイズ・低残像処理 TARGET (The ARTificial intelligence based Guidewire Extraction and Tracking processing)

従来のFAiCE-V NS1におけるMTNR^{*4}(Motion Tracking Noise Reduction)は、画像の中で時間フィルタと空間フィルタを適用する領域を画素単位で判断して処理することで、ノイズの低減効果を発揮しつつ、動きに追従させて時間フィルタを適用することで動きボケが抑制されていた²⁾が、さらな

るデバイスの視認性向上をめざし、動きボケやノイズ低減を要望した。

今回、FAiCE-V NS2として新しく開発された透視処理技術TARGETは、MTNR処理を生かしつつ、時空間方向に対してガイドワイヤーのような線状オブジェクトを検出する線分検出処理(図2左)を行う。線分以外の領域は画像フレーム間の各対応画素で動きベクトル算出処理(以下、オプティカルフローと示す)(図2中央と右)を元に、動き補償を行うフレーム間加重加算平均処理を適用することで大幅に動きボケを抑制した画像が得られる(図3)。具体的にはガイドワイヤーやステントなどを抽出し、そのほか、胃や腸管などを画素単位で動きを捉えることで、呼吸性変動が大きい場合でもガイドワイヤーによる動きボケが抑制された明瞭な画像が得られている(図4)。

(4) WOW (Wire Optimum Weighted processing)

EUS-HGSやEUSガイド下膵管ドレナージ(EUS-PD)あるいはERCPにおける膵管精査においてはガイドワイヤーが椎体と重なることが多く、特に造影剤とガイドワイヤーなどのデバイスの判別が難しくなり、ガイドワイヤー操作が困難となることがあった。そこで、椎体の影響を軽減しガイドワイヤーの視認性を向上させた透視画像を要望したところ、TARGET処理を生かしつつ、椎体などの背景部を減算処理するWOWが開発された。これにより、特に椎体あるいは造影剤と重なる位置においても、ガイドワイヤーの視認性が向上した透視

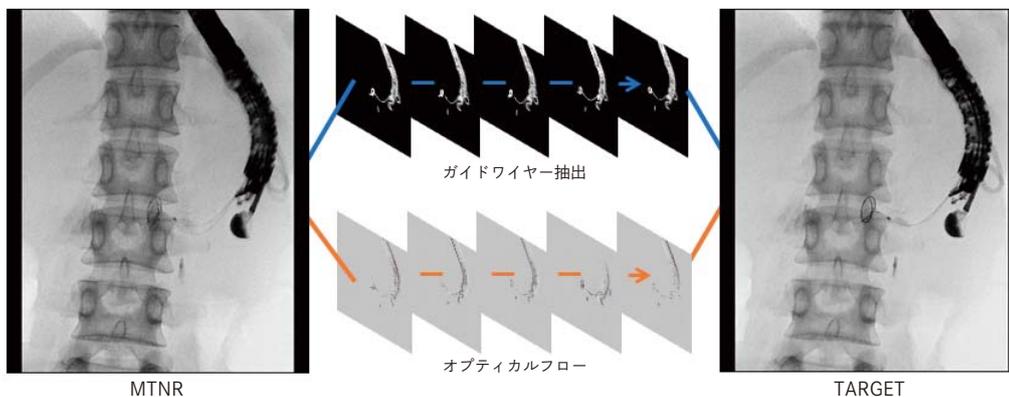


図3 TARGETの処理フロー

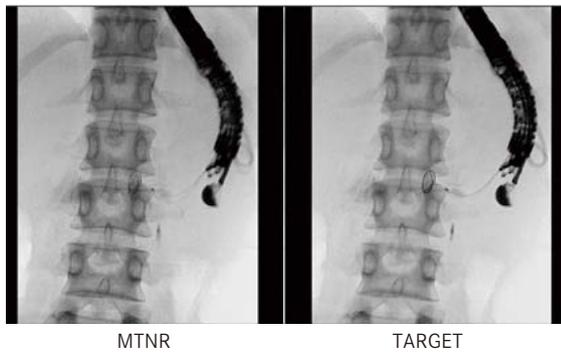


図4 MTNRとTARGET処理像の比較

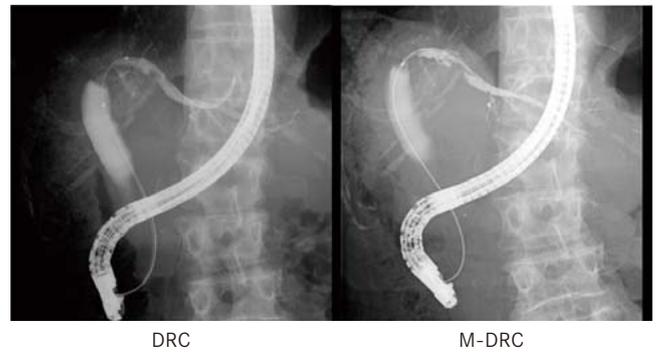


図7 同一症例(別検査日)による比較像

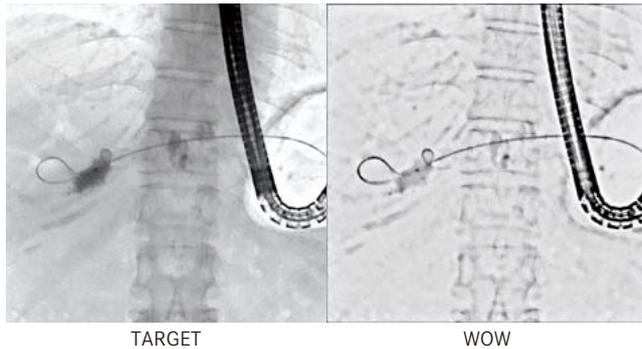


図5 TARGETとWOW処理像の比較

画像が得られるようになった(図5)。

(5) 撮影マルチ周波数処理 M-DRC

従来のFAiCE-V NS1の透視処理に搭載されたM-DRC (Multi-Dynamic Range Compression) 処理は、画像を複数の空間周波数に分解し、それぞれの周波数画像(例えばデバイス、造影剤および消化管ガス)に対して強調または圧縮処理(GainまたはLUT(Look Up Table))をかけ、再合成する処理である。これにより、ハレーションが抑えられ腸管や胆管の視認性が向上し、臨床的有用性を得たので、今回、透視画像と同様に、撮影画像の高画質化も要望し、従来のDRC処理に代わって撮影画像に対しても適用されることになった(図6)。

透視画像と同様、デバイスや末梢胆管、肝門部胆管、総胆

管の周波数帯域ごとに強調をかけることで、胆管狭窄部と椎体に重なる胆管と末梢胆管において視認性が向上した画像が得られている(図7)。

(6) 水晶体被ばくの低減

X線透視下での胆管内視鏡治療は低侵襲治療であるが、術者や看護師は常にX線を被ばくしている。特に水晶体はX線防護メガネを着用しているものの、さらなる厚い防護具で覆うことが困難なため、われわれの施設でも非常に重要な課題として考えている。現在、厚生労働省も水晶体の被ばく限度に対して見直しの検討会を行っている。

そこで、X線可動絞り内に備わっている焦点外X線の除去を目的とした奥羽根の鉛の厚みを厚くすることで、不要なX線被ばくを低減できないかと提案し、放射口のサイズはそのまま鉛の厚みを2mmから7.6mmへと改良が行われた(図8)。

結果、術者や看護師の立ち位置にもよるが、透視台周辺において、最大10%の低減効果を得ることができ、日立のX線透視診断装置を使用することで、以前より、安心して治療を行えると感じた。

(7) 撮影線量の低減

すでに海外において診断参考レベルDRL (Diagnostic Reference Level) が発表されており、2015年には日本においてもJ-RIME(医療被ばく研究情報ネットワーク)よりJAPAN DRLsが発表された。

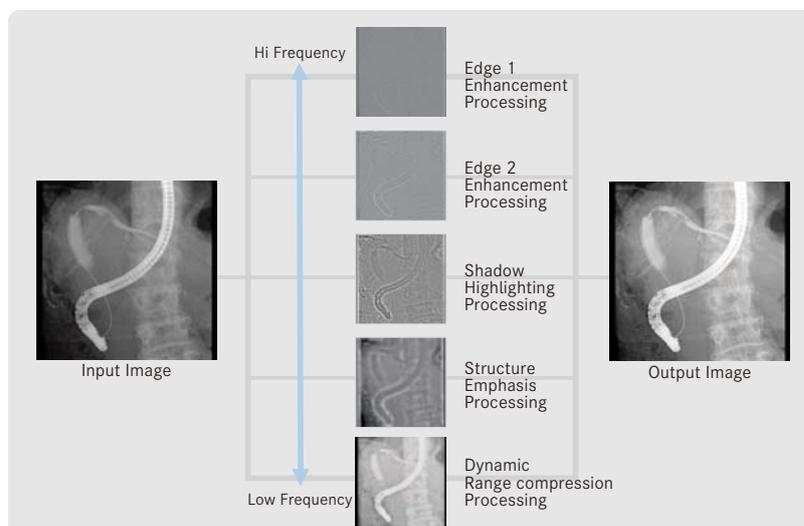


図6 撮影M-DRC演算概要

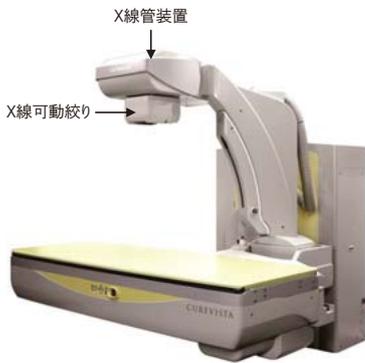
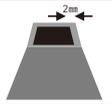
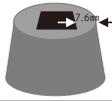


図8 X線可動絞りと奥羽根の概念図

	形状	鉛の厚さ
改良前		2mm
改良後		7.6mm

奥羽根形状と鉛の厚さ

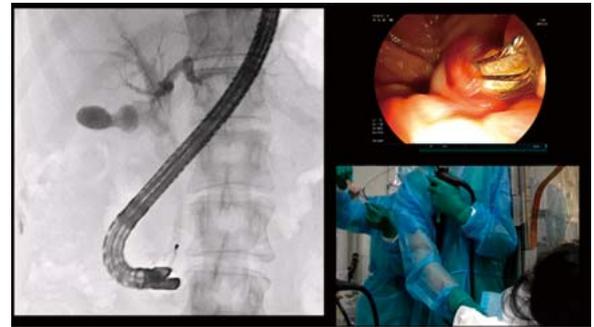


図10 VC-2000を用いた透視・内視鏡・操作画像の同時録画機能

われわれの施設では、被ばく線量低減のために、透視は低線量Lモード、術者に対しては鉛の防護壁を使用し低被ばく化に努めているが、低侵襲治療が普及する一方で患者、術者、看護師の被ばく線量は大きな問題として捉えている。

今回、FAiCE-V NS2として開発された撮影画像に対する逐次近似ノイズ低減処理(以下、IRノイズ低減処理)は、統計的モデルに基づきノイズと構造物(デバイスなど)を分別するようにノイズ低減処理を実施しながら、収集したRaw画像と逐次更新中のRaw画像とのボケ成分を比較し逐次その誤差を修正することで、ノイズの少ない画像を得ることができる。1検査あたりの被ばく線量を低減するために、この技術を活用し撮影の入射線量を低減することを提案した。

IRノイズ低減処理の適用前後を比較すると、入射線量を約30~40%低減することができており、かつ同一患者の同じシーンで比較しても同等な画質が得られている(図9)。透視による被ばく低減に加えて、本機能により、撮影線量の低減を実現することで、患者、術者、および看護師への被ばく線量の低減をすることができた。

4. ハイビジョン透視録画装置VC-2000のバージョンアップ

われわれの施設では、VC-2000を検査の振り返りや学会発表などに使用してきた。今回、内視鏡以外の周辺機器の映像についても同時に録画できることを要望した結果、VC-2000のバージョンアップにより最大4系統の映像情報まで同時録画可能となった。

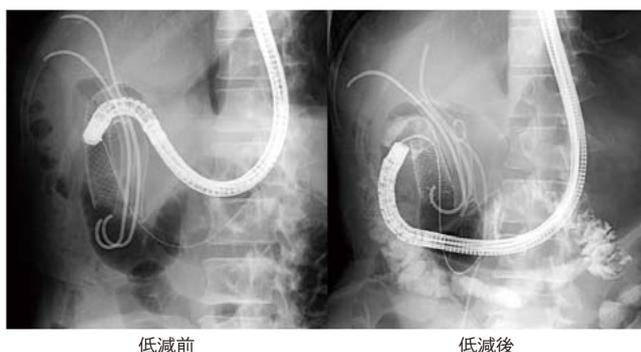


図9 IRノイズ低減処理適用前後の比較像

バージョンアップ後は、内視鏡とX線透視画像に加え検査室内に設置したビデオカメラ像を同時録画することで、術者の操作映像を検査後に振り返ることができ、若手医師の教育にも役立っている(図10)。これまで術者の内視鏡操作を記録することによって技術指導を行う機会があったが、操作映像と内視鏡・X線透視像を個別に記録していたため、手技中のどの場面での内視鏡操作かの判別が困難であり、指導に課題を感じていた。しかし同時録画を行うことにより、若手医師と経験者の間で同一手技における操作の違いを、操作画像、内視鏡画像、透視画像の3つの画像を同時に確認することにより、指導者、若手医師の相互の理解が容易となり、教育の面での有用性を感じている。

5. まとめ

胆膵疾患に対する低侵襲治療としてERCPに加えて、ますます普及しつつあるinterventional EUSの特徴として、十二指腸乳頭を介して治療を行うERCPと異なり、経胃的に治療を行うことが多く、これまでの透視画像と異なる画像が必要とされるようになった。これに対してTARGET、WOWなどの新機能により安全かつ確実な手技をサポートする透視画像が得られたと感じている。一方で、今後も低侵襲治療への期待は大きく、治療手技の複雑化が予想され、手技の長時間化や複数回にわたる手技の必要性が高まっており、これまで以上に被ばく対策に加えて、医療機器を介した感染の予防が問題となると予想される。CTなどの術前画像と透視画像の対比、同期機能による治療効率化、非接触での透視機器操作による感染対策、術者の意図を自動で認識し、適切なタイミング、適切な部位の透視画像、撮影画像による被ばく低減など、さらなる抜本的なイノベーションを期待したい。

※1 CUREVISTA、※2 FAiCEおよびFAiCE-V、※3 NEXT STAGE、※4 MTNRは株式会社日立製作所の登録商標です。

参考文献

- 1) 伊佐山浩通, 藤沢 聡郎, 中井 陽介, ほか: 肝内胆管ドレナージ(HGS, HJS) —私はこうする—, 胆と膵38, 1029-1033, 2017.
- 2) 木暮 宏史, ほか: 胆膵内視鏡治療におけるCUREVISTAと新高速画像処理エンジンFAiCE-V NEXT STAGE1の有用性, MEIDIX,65:14-18,2016.