

血管撮影領域における AI の活用

秋田県立循環器・脳脊髄センター 放射線部 ○佐々木 文昭(Sasaki Fumiaki)

【はじめに】

近年、深層学習(deep learning:DL)をはじめとする人工知能(AI)技術の進展により、医用画像分野における応用が急速に拡大している。CTやMRIにおいては、DL技術を用いた画像再構成によるノイズ低減、高分解能化や、ワークステーションでの自動計測、診断支援など多岐にわたる応用がなされ、実臨床にも導入されている。一方で、血管撮影(angiography)領域におけるAI活用については、CTやMRIと比較しやや認知度が低く、報告数も限られている。本稿では、血管撮影領域におけるAIの活用として、①血管撮影装置での画質改善、②診断補助ツールとしての活用、③血管内イメージングにおける自動計測の3点に分けて概説する。なお、本稿には、一部メーカー提供の画像および薬事未承認技術が含まれる。

【画質改善のためのAIの活用】

血管撮影領域で扱う画像は、CTやMRIのような再構成画像ではなく、主にリアルタイムの透視画像である。リアルタイム画像へのAI画像処理と言うと一般的に思い描くDL再構成と異なりイメージしづらいのではないだろうか。実際、臨床に導入されたのはここ2,3年のことであり、現在、国産2社(キャノンメディカルシステムズ;α Evolve Imaging, 島津製作所;SCORE Opera)の装置において実装されている。どちらも透視画像の画質改善を目的に、キャノンでは撮影画像を教師データとした透視画質の改善、島津ではDL技術を用いたデバイス強調処理による、デバイス視認性の向上を図っている。両者とも、DL技術を用いた画像フィルター処理との認識が近いと思われる。いずれも、適応対象は心臓カテーテル検査領域の透視画像に限定され、撮影画像や、他の領域には現状非対応である。

当院では2024年に島津製作所製のAI搭載型血管撮影装置を導入した。本稿では当該装置の使用経験を共有する。ファントムでの評価においては、DL画像処理によりワイヤーなどデバイスがぶれてしまう現象が認められた。これは、心拍動などの動きを前提とした処理であるため、静態ファントム

ム画像に対しても動き補正処理が過剰に働いてしまうことが原因と思われる。この為、ファントムによる画像の物理評価はできていないが、背景ノイズの低下、コントラストの向上により、視覚的には画質は向上しており、臨床画像においても、患者体型やワーキングアングルの、今までの装置では評価困難な条件下でも十分な画質が担保されている(Fig. 1)。

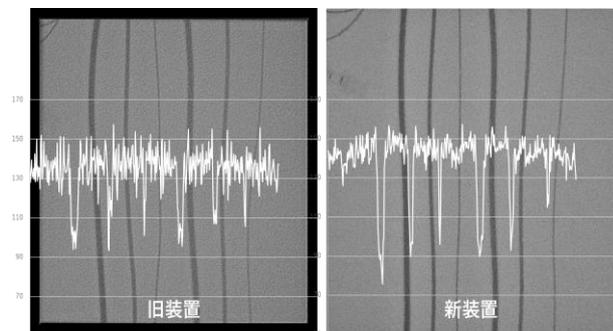


Fig. 1 DL画像処理実装装置の透視画像とプロフィール

次に、線量低減に関して、2019年導入のDL画像処理未実装の他社製装置と視認性を同等とした条件で線量を比較したところ、撮影線量はほぼ同等であったが、透視線量においては最大40%の線量低減が確認された(Fig. 2)。DL画像処理によって透視画像における線量低減と画質維持の両立が可能であることが確認できた。

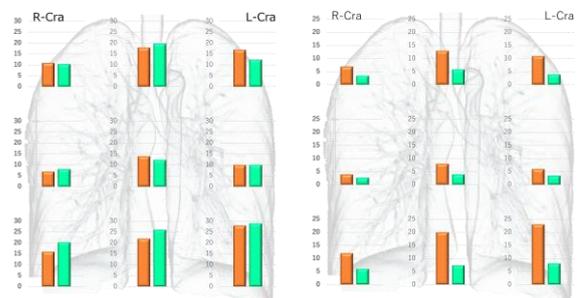


Fig. 2 照射方向毎の撮影線量(左)、透視線量(右)の比較

DL画像処理における課題として、物理評価、客観的評価が確立されていない点があげられる。特に血管撮影領域では動態を対象とした処理でありファントムでの評価にも工夫が必要である。また、

画像処理が作用するまでにタイムラグが生じるため、シーンのうち最初の数フレームは画質の低下がみられる。

【診断補助ツールとしての AI の活用】

血管撮影と直接関連するわけではないが、診断補助領域における AI 活用として心電図を挙げる。心電図における自動解析技術の歴史は長く、1970年代より解析数値の自動計測や所見の自動判定などに活用されている。近年、ここにも AI 技術が導入され精度向上、新機能の開発が進んでいる。一例としてフクダ電子では、合成波形の作成により実際に電極を張っていない右胸部や背部、一肋間上の誘導を推定する技術や、洞調律時の心電図から心房細動のリスクを推定する技術が臨床に導入されている。心電図関係の技術では他にも企業、研究室単位での開発も目覚ましく、近い将来さらに多くの機能が臨床に導入されるものと期待する。また、循環器領域の診療において生理的虚血の評価は治療適応判断に欠かせない検査となっている。冠動脈内に圧センサー付きのワイヤーを挿入し、狭窄前後の圧格差を測定する Fractional flow reserve (FFR) が標準ではあるが、近年、より低侵襲的に FFR を推定する仮想 FFR が登場し、ここでも AI 技術が活用されている。心電同期の心臓 CT 画像から FFR を推定する FFR-CT (Heartflow) では、3D モデル作成、血管中心線の抽出に AI 技術を活用し、精度向上、解析時間短縮が図られている。FFR-CT では FFR の推定には数値流体解析 (CFD) を使用しているが、SIEMENS の技術では FFR の推定自体に DL 技術を用い、CFD 解析と同等の診断能を示す結果を得つつ、大幅な時間短縮が実現されている (W.I.P.)。膨大なデータ処理を要する CFD 解析が DL に置き換わることでオンラインでの解析可能となるメリットもあり、臨床への導入が期待される。

【治療方針決定のための AI の活用】

血管撮影領域では Intravascular ultrasound (IVUS) や、Optical coherence tomography (OCT) と言った血管内イメージングが、血管径、病変長の計測や病変性状の評価に用いられ、治療方針やデバイスサイズの決定に活用されている。この血管内イメージングでも近年 AI 技術が導入され自

動計測、性状評価の精度が飛躍的に向上した。OCT では、血管壁、内腔の自動計測に加えて石灰化領域の自動検出を行い、石灰化の分布角度、石灰化厚が自動計測される。この OCT により自動計測された石灰化の分布角度、長さ、最大厚から求められる石灰化量指標スコアが STENT 拡張不良の予測因子として示されている。つまり、AI の示した解析結果から石灰化切除の必要性を判断することで STENT 拡張不良が未然に防げることが示された。IVUS では、血管壁と内腔の自動計測から、プラーク量の自動認識し、治療範囲を示す機能が追加された。この AI 解析によるデバイスサイズの選択と、熟練医師による選択結果を比較した検証では、AI と熟練医師の高い一致率が示され、AI を活用した効率化、手技選択の標準化が期待される。

【結語】

血管撮影領域における AI 活用は、画像処理技術としての高画質化・低線量化にとどまらず、心電図や仮想 FFR などの診断補助、OCT や IVUS を用いた治療支援にも広がっている。これらの技術は今後さらに進化し、精度の向上と共に、より広範な臨床領域での実装が期待される。

【参考文献】

押川 翔太, 丹野 恵一, 他. 深層学習を用いた血管撮影システム用 AI 画像処理 SCORE™ Opera の開発. 島津評論 別刷 2022; 79: 1-2
Christian Tesche, et al. Coronary CT Angiography-derived Fractional Flow Reserve: Machine Learning Algorithm versus Computational Fluid Dynamics Modeling. Radiology 2018 Jul; 288(1): 64-72
Akiko Fujino, Gary S. Mintz, et al A new optical coherence tomography-based calcium scoring system to predict stent underexpansion. EuroIntervention 2018 Apr 6;13(18): 2184-2189
Mitsuaki Matsumura, Gary S Mintz, et al. Accuracy of IVUS-Based Machine Learning Segmentation Assessment of Coronary Artery Dimensions and Balloon Sizing. JACC Adv. 2023 Aug 22;2(7): 100564