AIを活用した内視鏡研究の動向と今後の展望

田尻 久雄

Key words 消化器内視鏡, 人工知能 (AI), 機械学習, 深層学習 (deep learning), Japan Endoscopy Database (JED)

はじめに

日本消化器内視鏡学会は、その前身を日本胃カメラ学会と称し、1959年に設立され、1961年に日本内視鏡学会へと発展し、次いで1973年に現在の名称に変更されている。日本における消化器内視鏡の発展は、1950年、医師及び光学技術者の協力により胃カメラが開発され、その後の改良と臨床応用、さらにファイバースコープ、電子内視鏡の開発改良・普及をみるに至っている。1970年以降は、各種の内視鏡的治療が発展し、今日まで飛躍的な進歩を遂げている。

また、最近の30～40年間で、消化器疾患構造の変遷及び周辺科学技術の進歩でパラダイムシフトが起きてきている。悪性疾患では、胃癌の罹患率が減少し、大腸癌罹患率・死亡率が増加、肝細胞癌の治療成績・予後が改善される一方で、膵胆道癌が増加している。良性疾患では、消化性潰瘍が激減し、炎症性腸疾患の患者数が

増加している。治療面では、開腹手術から鏡視下手術へ移行し、さらに内視鏡治療の著しい増加等により、低侵襲な治療へシフトしてきている。特に、早期胃癌に対する内視鏡治療件数では、2016年以降、外科手術件数を上回るほど普及してきている。内視鏡機器では、ファイバースコープから電子内視鏡、さらに高解像度の内視鏡へと進歩し、顕微鏡レベルまで観察可能な超拡大内視鏡が実用化されている。

研究分野での人工知能 (artificial intelligence: AI) ブームの到来は、深層学習 (deep learning) という機械学習法の進歩によるところが大きい。深層学習 (deep learning) は、アルゴリズム革命をもたらしたとも言われ、近年の計算機性能の向上と共に、その能力は飛躍的に向上し、現在では、人間の識別限界を超えるようになった。また、深層学習 (deep learning) 技術の進歩と共に、にわかに注目されているのが内視鏡AIの領域である。その研究論文の半数

東京慈恵会医科大学, 一般社団法人JED研究機構

117th Scientific Meeting of the Japanese Society of Internal Medicine: Invited Lecture: 4. Current status and future perspective of AI-assisted endoscopy.

Hisao Tajiri: The Jikei University School of Medicine, Japan and Japan Endoscopy Database Institute, Japan.

本講演は、令和2年8月8日(土)東京都・東京国際フォーラムにて行われた。

図1 内視鏡機器の進歩

は日本発であり，日本がリードしつつある研究分野である．本稿では，AIを活用した内視鏡研究の動向と今後の展望について概説したい．

1. 日本消化器内視鏡学会におけるビッグデータ事業とAI研究の取り組み

消化器内視鏡検査で用いる内視鏡機器の進歩を振り返ると，10数年の周期で技術革新が起きてきている．1950年代に胃カメラが登場し，その後，1960年代にファイバースコープ，そして，1980年代以降のビデオ内視鏡と続いてきている．1991年には，拡大内視鏡が市場に導入された．2006年には，画像強調観察の1つであるNBI (narrow band imaging) が導入され，内視鏡診断の飛躍的進歩をもたらした．そして，2018年2月には，超拡大内視鏡のendocytoscopy (エンドサイト，オリンパス社) が市場に出た．エンドサイトは，約520倍の顕微観察を可能とする超拡大内視鏡であり，メチレンブルーやトルイジンブルー染色下で粘膜表層の細胞核の観察が可能である．この核を直接観察できるエン

ドサイトの特徴を利用し，良悪性診断が実臨床で行われている (図1)．

現在，日本全国で消化器内視鏡件数は，年間約1,500万件，健康診断 (人間ドック) を含めると1,700万件を超えている．国際的には既にデータベース化が進んでおり，国内においても，外科領域では，大規模データに基づく臨床研究が行われている．偶発症等，これまでの後ろ向きデータは信頼性が低いことが判明しており，今後は前向きのデータ収集の必要性が増している．専門医のあり方も変革がなされ，質の高い管理が求められている．2015年より開始したJapan Endoscopy Database (JED) Projectは，約1,450の全指導・指導連携施設の協力のもとに自動登録システムとしての実運用も開始し，全施設のデータ入力必須化を進めている．2018年3月1日には，一般社団法人JED研究機構を設立し，JED Projectに関する運用・展開の活動を行っている (図2)．収集したデータを分析して医療機関にフィードバックすることにより，内視鏡検査の質を向上させると共に，技術を標準化し，日本各地の患者に適切な内視鏡医療を提

図2 JED (Japan Endoscopy Database) Project概要と目的
DB：database

供する計画である。JED研究機構は、世界を見据えたall JAPAN big dataとして、世界最大のビッグデータ集積を実現すべく、今後、膨大となっていく消化器内視鏡データのクリーニング及び管理を行う機関となる。

2017年度から、国立研究開発法人日本医療研究開発機構（Japan Agency for Medical Research and Development：AMED）公募の研究事業として、国立情報学研究所（National Institute of Informatics：NII）と本学会との共同研究が実現し、AIによる内視鏡画像診断の研究がスタートしている（図3）。2018年度からは、新たな研究として「スクリーニング時の逸脱監視」等の内視鏡医が臨床現場で必要とする切迫した課題の解決となる独自のAI研究テーマを加えることによって、医療の質及び安全性確保の実用性を評価する研究として認められ、3年間の継続発

展的な研究として承認を得ている。本学会のAMED研究で実施中のものを含め、内視鏡領域におけるAIの応用に関する研究がこの数年間で急速に進んでいることに伴い、厚生労働省、経済産業省ならびに独立行政法人医薬品医療機器総合機構（Pharmaceuticals and Medical Devices Agency：PMDA）の方々にもご指導・ご支援をいただきながら、2018年9月に「AI推進検討委員会」を設立し、内視鏡診療におけるAIをより良い方向に推し進めている。医療分野におけるAIの利活用は大きく期待されているところであるが、一方で、情報の収集方法、性能の評価、精度管理ならびに誤判断時のリスクや補償等、未だ解決しなければいけない点も多く存在する。AI推進検討委員会では、消化器内視鏡領域におけるAI利活用の推進及び適切な運用を目的に活動しているが、その方針として、他領域の

AI等を活用した先制医療・予防医療への取り組み

図3 AMED（日本医療研究開発機構）におけるAIを活用した先制医療・予防医療への取り組み

（厚生労働省： <https://www.mhlw.go.jp/content/10601000/000337598.pdf>）

ISO：International Organization for Standardization, SS-MIX：Standardized Structured Medical Information eXchange, ORCA：Online Receipt Computer Advantage, MICAN：Medical Information system for Creating A regional medical Network, NDB：National Database, DPC：Diagnosis Procedure Combination, NCD：National Clinical Database, MID-MET：Medical Information Database Network

AI利活用の状況を把握すると共に、規制当局、アカデミアならびに企業等、必要な各部署の方々と連携し、以下の点について協議を行っている。

- ①AI機器が「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」の規制対象となることの会員への周知
- ②開発研究が臨床研究法の対象となり得ることの会員への周知
- ③AI利活用推進と日本の内視鏡関連産業の活性化を視野に入れたガイドライン策定への貢献（アノテーションデータ、テストデータの提

示等）

④適正な保険収載に向けた働きかけ

また、各種の検査画像やその他診療情報とともに、患者の診療において、医師の診断や処置・手術等を支援するAIを利用した医療向けプログラムの研究・開発が盛んになってきたが、医薬品医療機器等法上の“医療機器プログラム”の該当性、研究開発に際してのAI学習用・評価用データと個人情報保護法や関連指針との関係性については、十分に把握したうえで取り組む必要があることを協議している。なお、2019年2月、日本消化器内視鏡学会指導施設に対して実

図4 身近で使われているAIの活用事例

施したアンケート調査では、40施設以上が企業あるいは大学の工学部等と共同し、AI機器開発に取り組んでいることが明らかになっている。

2. 内視鏡医療現場からのAIに対する期待値

機械学習とは、コンピューター自体が多くの画像等から特徴を分析し、アルゴリズムを自律的に確立することである。今日の深層学習(deep learning)技術の進歩は、コンピューターに高度な学習を行わせるために提唱された、人間の脳を模した数理モデル、ニューラルネットワーク技術の開発が基盤となっている。このニューラルネットワークは、データの入力から出力までの中間層を多層にしてニューロンの数(情報伝達及び処理)を増やすことで、コンピューターにより深く思考させることができる。さらに、

4層以上のニューロン層を持つネットワークをディープニューラルネットワークと言い、深層学習(deep learning)とは、ディープニューラルネットワークによる機械学習のことを指す。機械学習の技術は、既に身近で活用されており、掃除ロボット、コールセンター、自動車の自動運転、デジタルカメラ等の顔検出、Google等の検索エンジンならびに郵便番号を認識し自動仕分けをする郵便区分機等がある(図4)。製造業でも機械学習は応用されており、製品の需要や売り上げの予測、ライン上の不良品や機械故障の監視を行っている。人間の目や経験に頼っていた作業の一部が、機械学習により効率的に自動化されている。

ある領域では、画像認識ではAIが人間の能力を超えたと考えられている。ILSVRC(ImageNet Large-Scale Visual Recognition Challenge)は、

図5 大腸内視鏡に対するAI内視鏡の研究

大腸ポリープの発見・診断精度向上は、患者のQOL (quality of life) の改善に役立っていく。

約200カテゴリに分類された多数の画像が出題され、画像に写っているものが何かをコンピューターが認識し、最も低いエラー率を記録したものが勝者となるコンテストである。当初は25%以上の誤り率であったが、2012年に、トロント大学のグループは、8層のニューラルネットワークを用いた深層学習 (deep learning) により、誤り率を大きく改善させた。2013年からは、全てのチームが深層学習 (deep learning) を用いることにより、さらに誤り率は改善され、2015年には、Microsoft Research Asiaの誤り率が3.57%となり、人間の誤り率の5.1%を超える成績を出すことに成功している。

医療現場では、AIが現状のレベルでどの程度診療に役立つのか、また、近い将来、どの程度まで役立つようになるのか、未だ十分な理解は進んでおらず、やや過剰な期待と医師の専門性を奪われる可能性に対する不安が交錯している。

しかし、AIとして最も期待されている有力な領域の1つが内視鏡画像診断技術であることも理解されてきている (図5)。内視鏡検査を実際に行う医師には専門医、非専門医 (消化器内科医でない他の診療科の先生を含む) がおり、診断レベルには差が生じていることも事実である。今後、AIは非専門医をサポートすることにより、専門医と同等レベルの診断を提供できる可能性を秘めている。内視鏡で用いられるAIは2つに大別される。すなわち、特徴量を事前に開発者が指定して機械学習を行うAI (=ハンドクラフト法) 及び繰り返す学習のなかで自ら特徴量を抽出するAI (=深層学習 (deep learning)) である。ハンドクラフト法は旧来の学習方法で、深層学習 (deep learning) は最近注目されている新規の手法であり、一般にハンドクラフト法より精度が高いとされるが、ケースバイケースの場合もあるため、研究開発の際は慎重なアルゴ

図6 カプセル内視鏡におけるAIの取り組み

リズムの選別が求められる¹⁾。

以下、AI技術の応用が有効であると広く認知されている領域を挙げる。

- ①内視鏡検査中のポリープや癌等の病変の指摘（見逃しの減少）、食道癌・胃癌・大腸癌については、非熟練医が検査する場合においても、AIのアシストを活用することで、熟練医並みの癌発見率が達成できるようになる^{2,3)}。現在、世界的な関心はエビデンス構築にシフトしつつあるが、特に大腸内視鏡に対するAIの研究は盛んで、大規模前向き研究が既に複数報告されており、実地医療への導入が最も早期に期待される分野である。
- ②内視鏡検査中の癌、非癌等の鑑別診断、内視鏡検査中の病変の範囲診断・深達度診断が専門医と同等レベルで可能となる。通常倍率の観察のみでは難しいが、拡大内視鏡を併用す

ることにより、食道癌では、sm1, sm2等の深達度判定が専門医並みに可能であるという報告もなされている⁴⁾。

- ③内視鏡検査後の医師の読影負担の減少（対策型胃癌検診2次読影及びカプセル内視鏡等）により、作業時間が短縮され、精度も向上する（図6）⁵⁾。Aokiら⁶⁾の研究によると、カプセル内視鏡の読影において、内視鏡医単独読影と、AIが診断した後で内視鏡医が読影した場合の比較では、熟練専門医の読影に要する時間が12.2分から3.1分に短縮、非熟練医の場合は20.7分から5.2分に短縮しており、さらに診断精度は同等であったと報告されている。
- ④医師の書類作成負担軽減として、内視鏡読影レポート作成の半自動化が進められる。大量の作業が予測される部分の代替及び補助が最も受け入れられやすい期待領域の例とし

て、定型的な所見入力補助がある（内視鏡画像キー画像を選択すると、所見候補としてのキャプションが自動提示される等）。

⑤内視鏡検査時の負荷軽減，すなわち，部位判定や自動シャッターにより，撮影漏れ・観察漏れが減少する。

⑥治療手技支援として，内視鏡的粘膜下層剥離術（endoscopic submucosal dissection：ESD）時の範囲マーキング，ESDの際に出血予防のために焼却しなければならない血管を検出・指摘できるようになる。

また，腫瘍の診断のみではなく，発癌のリスク評価にもAI技術の応用が進んでいることも興味深い。*Helicobacter pylori*感染は，慢性胃炎・腸上皮化生を介して胃癌の原因となり得るため，内視鏡で*H. pylori*感染を拾い上げることが重要視されている。AIは，このような*H. pylori*感染の見落としを拾い上げる技術として期待が寄せられており，アジアを中心に研究が進んでいる。Shichijoら⁷⁾は，深層学習（deep learning）で*H. pylori*感染を感度89%，特異度87%で予測するAIを報告している。これは，内視鏡医による正診率（82%）より有意に高い精度であった。続いて，このグループは，さらに大量の試験画像（＝847人の患者）を用いて，*H. pylori*の除菌例も加味した検討を行っている⁸⁾。その結果は，*H. pylori*未感染例については正診率80%，除菌例については正診率84%であり，今後のさらなる精度向上及び臨床導入が期待されている。

内視鏡画像読影におけるAIの応用が進む一方，課題も明らかになりつつある。例えば，大腸ポリープや胃癌等，病変をリアルタイムに発見・診断できるシステムが構築されてきているが，内視鏡画像の分類に関して，比較的小規模な研究グループによる人手によるデータ収集が主となっており，世界的規模の内視鏡画像分類に耐え得る教師用画像及び検証用画像データベースは，現時点ではない。

我が国においては，薬事承認を受け，上市が進められている内視鏡診断システムが出始めている。前述したendocytoscopyを用いた大腸ポリープのAI診断が精力的に進められている。その特徴は，超拡大観察機能及び接触観察機能により，画面全体が関心領域となることであり，超拡大画像と非超拡大画像が大きく異なる画像のため，超拡大内視鏡画像時に自動解析するコンピュータ診断支援システムが構築可能である。これらの利点を活かして，昭和大学横浜市北部病院と名古屋大学の医工連携チームで開発されたシステムは，複数の後ろ向き研究で腫瘍診断感度90%以上が担保できることを確認した後に，Moriら⁹⁾により大規模な前向き研究が実施された。この試験では，791名の患者を対象にリアルタイムでendocytoscopyを用いたCAD（computer-aided diagnosis）xが使用され，計466個の微小大腸ポリープの病理診断予測が行われた。感度92.7%，特異度89.8%で腫瘍が鑑別可能であることが検証され，実臨床における有用性が示された。なお，endocytoscopyを利用した内視鏡AIは，我が国で初めて2018年12月に薬事承認を受けている（販売名：EndoBRAIN[®]）。さらに，2020年1月には，AIを用いた大腸内視鏡診断支援ソフトウェアEndoBRAIN[®]-EYEが薬事承認を受けた。EndoBRAIN[®]-EYEは，大腸内視鏡で撮影された内視鏡画像をAIが解析し，ポリープ等を検出すると警告を発し，医師による病変の発見を補助するソフトウェアである。設計上，検出した病変の位置まで特定することはせずに音と画面上の色によって医師に警告を発するにとどめている。国内5施設から集積した動画から抽出された395万枚の内視鏡画像を学習し，臨床性能試験では感度95%，特異度89%の精度で病変の検出が可能で，内視鏡医の支援に足る十分な精度を達成している。

消化器内視鏡領域におけるAI利活用は，内視鏡のqualityを高め，均てん化を図るツールとし

て、過去に経験したことのないインパクトを医療現場に起こすものと考えている。診断学の分野は治療に直結する重要な分野であるが、医師の経験格差が大きく、且つ従来までの診断学は主観的要素が強い部分であったものを、AI活用により数値化・客観化できる。さらに、患者にとって、日本中どこにいても良質（最高）の医療を受けられるようになる可能性がある。

3. 内視鏡に携わる医師としての今後の対応

内視鏡AIを使う側の医師は、AIアレルギーを起こさず、AIに関するリテラシー（AIの特徴、利点、欠点ならびに利用時の注意点等への理解）を高めていく必要がある。すなわち、AIにはできない（人間にしかできない）部分の能力を高め、AIを使いこなし、より高精度な内視鏡医療を提供できるようにする準備が必要である。ただし、AIは、診断に関して医師をサポートすることができるが、当面の間、手技に関してはAIが取って代わることはないと思われ、挿入技術を含めて苦痛のない内視鏡検査を患者に提供し、くまなく消化管内部を観察する技術を、内視鏡医として常に磨いていく努力を続けなければならない。2018年のダボス会議で、ポール・ドーアティが「人間の力にAIの技術が加わればより強い力が生まれる—human plus machine equal superpower」と演説したとされているが、まさに内視鏡AIもその方向で推進されていくことを期待する。

ところで、内視鏡領域のAIは、「診断支援」か「完全自動診断」のどちらに位置付けられるかと言われると、前者である。一方、比較的客観的な画像が提供される放射線画像・病理画像・網膜画像等は、現時点では「診断支援」がメインであるが、近い将来「完全自動診断」が許容されてくる時代が訪れるかもしれない。2018年4月に「医師を介さない」DM (diabetes mellitus) 網膜症診断AI「IDx-DR」がFDA (Food and Drug

Administration) の承認を取得したことは注目すべきである¹⁰⁾。

AIを生成する段階の取り組みとして、AIと切り離せない大規模情報収集の観点から、テキスト情報（所見）の記載方法が標準化され、且つ自由記載が可能な書き方への変換、精度の高い病変領域情報の記載ならびにフィードバックへの参画が重要となる。内視鏡医として、日常的に高精度な診療情報を作成するモチベーションが高い我が国において、標準化に向けて方向付けされた環境での所見入力、日常診療上において不可欠である。

4. 変わっていく内視鏡現場と求められる知識・教育

AIはあくまでも補助診断であり、確定診断は医師しかできない。求められる知識・教育は、今後も大きくは変わらないと考えている。しかし、AIの導入により、トレーニング期間の短縮や、指導医不足の施設でも効率的に教育・研修ができるようになる可能性がある。初心者が専門医資格を取得するまでのトレーニング期間中は、現在のカリキュラムに沿って研修をこなして最低症例数を義務化することも必要である。今後は、内視鏡トレーニングにAIを活用するプログラムを構築し、従来は1人の熟練医を育てるのに10年はかかる期間をより短縮させることが可能になるであろう（図7）。内視鏡領域の現場にAI利活用が導入されると、内視鏡画像診断学の習得スピードが劇的に速くなると共に、均てん化がなされ、観察者間の診断の相違が減る結果、画像診断学の教育に占めるウェイト（習得必要時間）は減っていくと予測されている。

一方、AIは医師のトレーニングを妨げるとも言われている。すなわち、AIの診断能が高いと、AIに頼り過ぎて医師の能力の成長を抑制するという危惧がある。その解決策及び教育の在り方は、今後もさまざまな観点から議論を積み重ね

初心者が専門医取得するまでのトレーニング期間中は、現在のカリキュラムに沿って研修をこなす(最低症例数を義務化)。内視鏡トレーニングにAIを活用するプログラムを構築して、従来は1人の熟練医を育てるのに10年にかかる期間をより短縮させる。

図7 変わっていく内視鏡現場と求められる知識・教育

なければならない。

前述しているように、AIは診断の確率を出力するだけで、確定診断することは医師の仕事として残っていくことは間違いない。さらに、AIが判断に迷う症例も多数出てくると思われ、これらの画像診断学に注力できるようになり、より一層の画像診断学のさらなる高みへの発展も見込める。単に内視鏡画像だけをみるのではなく、さまざまな背景情報（既往、内服歴、家族歴ならびに過去の検査歴等）を統合して診断するスキルを磨いていくことが、今後の内視鏡医にとって重要である。事前問診はある程度AIが行うようになるにしても、患者の症状及び訴えを的確に把握し、気持ちに寄り添う仕事は、当面の間、人間にしかできない。AI生成に携わる医師は、世間を納得させるエビデンスを作らなくてはならない。こと、消化器内視鏡医においては、苦痛のないように挿入して空気を入れる、粘液（便）等粘膜をきれいに洗う、隈なく観察してきれいな写真を撮影する等の熟練した

操作技術や感覚が必要とされるため、AIの利活用が今後進んだとしても、役割は不変であると考ええる。

AIが優れた性能を発揮する診断の分野に関しても、誰が責任を取るかという問題が、AIが普及するにつれて必ず付きまとう。現時点では、医師の診断が最終診断であるというスタンスを貫く必要がある。

近年のAIを含めた最新の技術はopen source となっており、AIへのアプローチそのものはハードルが低くなっている。内視鏡現場には、高品質の内視鏡診療を行うのみならず、独自のstudy mindに溢れた多くの医療従事者がいる。AIの得意とする領域での利活用方法や実例に関する知識を学ぶことにより、データセットの囲い込みで勝負する競合状態を避け、新たな診療上の問題点の解決や既存のAIスキームの改良、広い視点での疾患の鑑別等、大規模データセットの活用に関する自由な取り組みを推奨する研究開発環境の構築が望まれる。一方、取り

扱うデータが患者の疾患に関する情報であることから、その取り扱いに関わる倫理的・法的な制限事項に関して厳密な教育が初期段階で行われる必要がある。

我が国は、内視鏡画像診断において世界をリードする位置にあり、量的な情報収集能力が勝負を決めるAIにおいては、多数の専門医の診断能が大きな武器となる。一方、医療情報の標準化及び全国規模の情報収集という観点はやや苦手としている面もある。大規模な情報収集が勝負を分ける領域であり、情報収集への協力を惜しまないstudy mindの醸成と情報収集にかかる負担の軽減、生成されたAIの検証を容易にする体制構築が望まれる。消化器内視鏡技術は、日本の精密なモノづくり環境と日本人内視鏡医の器用さで創出してきた世界に誇るべき領域である。先端技術のAIを組み合わせることで、これまでになかったイノベーションを起こせる可能性があるものと確信している。

おわりに

AIを活用した内視鏡診療への期待として、医師の時間的・労力負担減少が挙げられる。また、病変の見逃し減少と診断能向上、内視鏡診断の均てん化が進められる。指導医不足の地域で

は、AI導入により、効率的に経験・教育を受けられるようになるであろう。AIが判断に迷う症例も多数出てくると思われ、そのような画像診断に注力でき、より一層の画像診断学のさらなる高みへの発展も見込め、内視鏡診療全体のqualityを高めていくことができる。しかし、AIはあくまでも補助診断であり、求められる知識・技術、教育・トレーニングの基本は今後も大きく変わらないと考えている。

謝辞 図の提供をいただきました京都第二赤十字病院 田中聖人先生、ただともひろ胃腸科肛門科 多田智裕先生に厚く御礼申し上げます。また、本総説において、貴重なお助言・ご示唆をいただきました以下の先生に御礼申し上げます。

東京慈恵会医科大学内視鏡医学講座 樺俊介先生、炭山和毅教授、国立がん研究センター中央病院内視鏡センター 山田真善先生、斎藤豊先生、昭和大学横浜市北部病院消化器センター 森悠一先生、がん研有明病院消化器センター上部消化管内科 平澤俊明先生

著者のCOI (conflicts of interest) 開示：田尻久雄；研究費・助成金（カイゲンファーマ、スリー・ディー・マトリックス、日本製薬）、寄附金（オリンパス、富士フイルム）、寄附講座（エーザイ、富士フイルムメディカル）

文献

- 1) 森 悠一, 他 : 消化器内視鏡領域における人口知能診断支援の現状と今後の課題. *Gastroenterol Endosc* 62 : 311-329, 2020.
- 2) Ishioka M, et al : Detecting gastric cancer from video images using convolutional neural networks. *Dig Endosc* 31 : e34-e35, 2019.
- 3) 山田真善 : AIを活用したリアルタイム内視鏡診断サポートシステムの開発と期待される臨床効果. *新医療* 45 : 130-133, 2018.
- 4) Horie Y, et al : Diagnostic outcomes of esophageal cancer by artificial intelligence using convolutional neural networks. *Gastrointest Endosc* 89 : 25-32, 2019.
- 5) 平澤俊明, 他 : AI内視鏡の基礎知識と胃癌診断への応用実際. *消内視鏡* 31 : 1102-1105, 2019.
- 6) Aoki T, et al : Clinical usefulness of a deep learning-based system as the first screening on small-bowel capsule endoscopy reading. *Dig Endosc* 32 : 585-591, 2020. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/den.13517>
- 7) Shichijo S, et al : Application of convolutional neural networks in the diagnosis of *Helicobacter pylori* infection based on endoscopic images. *EBioMedicine* 25 : 106-111, 2017.
- 8) Shichijo S, et al : Application of convolutional neural networks for evaluating *Helicobacter pylori* infection status on the basis of endoscopic images. *Scand J Gastroenterol* 54 : 158-163, 2019.
- 9) Mori Y, et al : Real-time use of artificial intelligence in identification of diminutive polyps during colonoscopy : a prospective study. *Ann Intern Med* 169 : 357-366, 2018.
- 10) Food and Drug Administration : FDA permits marketing of artificial intelligence-based device to detect certain diabetes-related eye problems.
<https://www.fda.gov/newsevents/newsroom/pressannouncements/ucm604357.htm>