

Kommentar Expertenbeirat



Thema

Automatisierte Polypen-Detektion und Charakterisierung für die Vorsorgekoloskopie

Autoren:

Allescher, H.-D., Weingart V. | 11.02.2020

Keyword:

Adenom Detektionsrate, ADR, polyp detection rate, Vorsorge Koloskopie, Künstliche Intelligenz, Darmkrebs

Korrespondenz-Adresse:

Prof. Dr. Hans-Dieter Allescher

Zentrum Innere Medizin, Gastroenterologie, Hepatologie, Stoffwechsel und Nephrologie
Klinikum Garmisch-Partenkirchen, Auenstraße 6, 82467 Garmisch-Partenkirchen

Tel: +49-8821-77-1500

Fax: +49-8821-77-1502

E-Mail: hans.allescher@klinikum-gap.de

Abstrakt:

Die Vorsorgekoloskopie ist die effektivste Methode zum Screening und zur Vorbeugung vor der Entstehung eines Kolonkarzinoms. Aber die Vorsorgekoloskopie und deren Effektivität hängen entscheidend von der Qualität der endoskopischen Untersuchung, und hier vor allem von der möglichst vollständigen Identifizierung und Entfernung aller Polypen ab. Die Rate an übersehenen Polypen korreliert direkt mit der Rate an Intervallkarzinomen, d.h. von Karzinomen, die im Vorsorgeintervall bei einer kleinen Gruppe von Patienten entstehen können. Daher sind viele Aktivitäten darauf ausgerichtet die Entdeckung und die Charakterisierung von Polypen zu optimieren. Die Vorentwicklung auf dem Gebiet der Bild- und Strukturerkennung und insbesondere die neuen Möglichkeiten der künstlichen Intelligenz können hierbei einen möglichen wertvollen Beitrag liefern. Viele Aktivitäten sind darauf ausgerichtet einerseits die Detektion von Polypen bei der Koloskopie mittels automatisierter Bildanalyse Systeme zu unterstützen und andererseits mittels Bildanalyse eine Hilfestellung bei der geweblichen Charakterisierung der gefundenen Polypen im Sinne der computergestützten Diagnose (CAD – computer aided diagnosis) zu geben. Dieser Überblick soll eine kurze Zusammenfassung des aktuellen Standes der Entwicklung geben.

Einleitung:

Die Vorsorgekoloskopie ist die effektivste Methode zum Screening und zur Vorbeugung vor der Entstehung eines Kolonkarzinoms. Aber die Vorsorgekoloskopie und deren Effektivität hängen entscheidend von der Qualität der endoskopischen Untersuchung, und hier vor allem von der möglichst vollständigen Identifizierung und Entfernung aller Polypen, als Vorstufen der Karzinome ab. Die Adenom Detektionsrate (ADR) ist einer der wesentlichen Qualitätsparameter bei der Vorsorgekoloskopie [1]. In einer großen Studie mit über 45000 Koloskopien und 186 Koloskopeuren hatte die individuelle ADR der einzelnen Untersucher direkt mit der Rate der Intervallkarzinome korreliert [1]. Die Verbesserung der ADR um ein 1% war mit einer Reduktion des Karzinomrisikos von 3 % verbunden (HR 0.97; 95%CI: 0,96 bis 0.98) [2]. Das Übersehen von Adenomen (Adenoma miss rate) stellt ein wichtiges Problem bei der Vorsorgekoloskopie. Es werden in den Studien unterschiedliche Prozentzahl an

Kommentar Expertenbeirat

übersehenen Polypen von 6%-27% berichtet. Neben verschiedenen anderen Maßnahmen, technischen und organisatorischen Verbesserungen, konnte gezeigt werden, dass sowohl ein zweiter Untersucher als auch die Mitbeobachtung durch ein ausgebildetes Assistenzpersonal die Detektionsrate steigern kann. Aus diesem Grund ist die Möglichkeit einer automatischen Bildanalyse und Bildauswertung mit einer automatisierten Polypen-detektion ein vielversprechender möglicher Ansatz. Zudem könnte das System dann Unterstützung bei der Charakterisierung der gefundenen Polypen bieten.

Automatisierte Polypen-Detektion und Künstliche Intelligenz

In den letzten Jahren haben die technischen Möglichkeiten der automatischen Bildauswertung deutlich zugenommen. Durch Technologien, wie das autonome Fahren und der Gesichtserkennung in den sozialen Medien und der Handy Nutzung, haben diese Technologien einen großen Schub erhalten. Die computerisierte Auswertung von endoskopischen Bildern war immer schon ein Wunschtraum der endoskopierenden Ärzte gewesen, da mit dem „Generationenwechsel“ sehr viel „Bilderfahrung“, die durch jahrelanges praktisches und visuelles Training erworben wird, verloren geht.

Neben der Auswertung von Bildern spielt auch vor allem die Erkennung von bestimmten Pathologien eine wichtige Rolle bei der endoskopischen Beurteilung. In der Vorsorgekoloskopie ist dies vor allem die Erkennung von polypoiden Strukturen. Es besteht zumindest die Hoffnung, dass mit solchen Algorithmen die Polypen-Detektion verbessert und die Rate an übersehenen Polypen gesenkt werden kann. Aber auch die automatische Detektion von Polypen ist natürlich nur so gut wie die endoskopische Bildgebung. Natürlich kann auch die automatische Bilderkennung keine Polypen hinter Falten oder in einem schlecht vorbereiteten Darm erkennen.

Die automatische Erkennung wird durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst wie die Endoskop- bzw. Kamerabewegung, Lichtreflexionen durch die Mukosa, Bildunschärfe, Probleme mit der Ausleuchtung des Lumens, von den optischen Eigenschaften der Linse, aber natürlich auch von der großen Variabilität in der Polypengröße, der Lage und Form der Polypen. Vor allem wird die automatische Polypendetektion aber auch durch Luftblasen, Stuhl- und Schleimreste beeinflusst und beeinträchtigt. Dies kann zu falsch positiven Ergebnissen bei der Polypendetektion führen.

Grundsätzlich ist zwischen zwei unterschiedlichen Zielsetzungen der Computer-unterstützten automatischen Polypendetektion zu unterscheiden: A) die automatische Detektion der Polypen B) die Differenzierung und Charakterisierung mit Vorhersage der histologischen Typisierung eines bereits detektierten Polypen.

Der bisherige und eher konventionelle Ansatz war, Strukturmerkmale von Polypen zu beschreiben und dann einen Algorithmus zu entwickeln, der diese Charakteristika beschreibt und diese dann nutzt, um in dem Live-Videobild einen Polypen zu entdecken. Diese Ansätze beruhen auf den Erfahrungen von Untersuchern und können direkt effektiv und mit klaren Parametern eingesetzt werden. Der Nachteil dieses Algorithmen-basierten Zugangs ist aber durch die Beschränkung der Suche auf die vorgegebenen Kriterien und die oft fehlende Lernfähigkeit des Systems gegeben. Dies kann z.T. durch die Verwendung von neuronalen Netzen kompensiert werden.

Kommentar Expertenbeirat

Basierend auf neuen Bilderkennung-Ansätzen der sozialen Medien und sogenannter „Big-Data“ Anwendungen erfolgt die Beurteilung nicht auf einem vorgegebenen Algorithmus, sondern es wird ohne vorherige Vorgabe aus einer Vielzahl von digitalen Bildern nach Gemeinsamkeiten und Auffälligkeiten gesucht. Dazu werden auch Bildinformation und Eigenschaften genutzt, die zunächst nicht klar definiert sind und auch nicht aus dem sichtbaren Bereich der Bildinformation des CCD Chips stammen müssen. Dieses Prinzip wird auch als „deep learning“ bezeichnet und die Mustererkennung ist einem Vorgang der „Big Data Analyse“ entlehnt. Vorteil dieser Methode ist, dass nicht auf herkömmliche Kriterien zurückgegriffen wird und das System lernfähig ist. Nachteil dieser Methode ist, dass nicht unbedingt nachvollziehbar ist welche Kriterien zur Differenzierung verwendet werden.

Beide Verfahren, Algorithmen- oder „Deep learning“-basiert, können aber mit der inzwischen verfügbaren Rechenleistung zur „Real time“ Analyse von Bewegtbilddaten benützt werden. Natürlich könnten diese Verfahren auch mit anderen Bildgebungsmodalitäten wie der Chromoendoskopie, Narrow Band Imaging oder Endozytomikroskopie verwendet oder kombiniert werden [3]. Da die Methoden aber den digitalen Datensatz des CCD Chips nutzen, können auch mögliche optische Zusatzinformation der Bildinformation mitberücksichtigt werden.

Algorithmen basierte Systeme und „Machine learning“

Die ersten Systeme benützten Algorithmen-basierte Ansätze, um Polypen auf Standbildern zu detektieren [4,5] und erreichten hierbei bereits beträchtliche Sensitivitäten von > 90-95%. Eine klinische Anwendung wurde mit dem HuPAS Version 3.1 an der Hiroshima Universität berichtet [6]. Dieses System erzielte eine Sensitivität von 97,8% und erreichte bei der Charakterisierung der Läsionen eine hohe Spezifität.

Ein weiteres Algorithmen-basiertes Software Tool zur Polypen-Detektion (CoLD -Colorectal Lesions Detector) benützte einen statistischen „Second-order“ Ansatz der Bildinformation und berechnete daraus Wellen bzw. Kurventransformationen jedes Einzelbildes, um damit einen Vergleich zwischen einem Bild mit normalen und pathologischen Inhalt zu unterscheiden [7].

Mit Hilfe der Möglichkeiten eines zusätzlichen neuronalen Netzwerkes erreichte dieses System bei Standbildern eine Genauigkeit und Erkennungsrate von mehr als 95%. In einem zweiten Ansatz benützte die Arbeitsgruppe von Fernández-Esparrach et al sogenannte „Energy maps“ (Window Median Depth of Valleys Accumulation (WM-DOVA) energy map method), die auf der Lokalisation und der Begrenzung von Polypen beruht. Diese Methode erreichte bei Video Bildern eine Sensitivität von 70.4% und eine Spezifität von 72.4% bei der Erkennung von Polypen [7].

Einen etwas anderen Ansatz wählten Wang und Kollegen, die ein auf Grundlage einer Regel basierten Klassifikation die Kantenerkennung von Polypenstrukturen (Polyp-Alert Software) versuchten. Mit diesem System erreichten sie eine korrekte Polypen Detektion von 97.7%, aber verbunden mit einer kleinen Verzögerung und einer nicht unerheblichen falsch positiven Erkennungsrate [8]

Die Gruppe um Wittenberg wählte einen weiteren Ansatz in einem Algorithmen-basierenden System (automated polyp detection software -APDS) zur automatischen Polypen Detektion. Hierzu benutzen sie eine Bilddatenreduktion, verbunden mit einer gewichteten kombinierten Beurteilung von Farbe, Struktur, Textur und Bewegung, um Areale mit einem möglichen Polypen zu detektieren [9]. In einer prospektiven Studie testeten sie einen Prototyp der APDS Software (koloPol) im Routineeinsatz an Live-Video-Bilddaten. Bei 55 Patienten erreichten die Endoskopeure eine PDR von 50,9 % und eine ADR von 30,9%. Das APDS System erreichte eine PDR von 50,9% und eine ADR von 29,1%. Das APDS

Kommentar Expertenbeirat



System detektierte 55 der 73 endoskopisch identifizierten Polypen (75,3%). Der Algorithmus "über-sah" jedoch einige adenomatöse Polypen und hatte vor allem bei kleinen und flachen Polypen eine begrenzte Erkennungsrate. Außerdem gab es noch eine deutliche Rate an falsch-positiven Arealen.

Künstliche Intelligenz (KI) Systeme mit „deep learning“ Ansatz

Das erste System zur automatisierten Polypendetektion und Charakterisierung (EndoBrain) (Mori et al.) wurde in Japan 2018 zugelassen [10]. Dieses System benützt einen "artificial intelligence" (künstliche Intelligenz KI) oder auch als "machine learning" oder "deep learning" genannten Ansatz, um die Polypen-Struktur zu untersuchen, die Schleimhautoberfläche und das Gefäßmuster zu beurteilen und damit die Histologie vorherzusagen und eine Hilfestellung bei der Therapieentscheidung zu geben. In der Tat erreicht dieses System bei der Polypenbeurteilung einen negativ-prädiktiven Wert von > 95% [10].

Ein innovatives System benützt eine Bild Analyse (ai4GI), um eine Wahrscheinlichkeitsvorhersage für das Vorhandensein eines Polypen auf dem aktuellen Videobild zu geben. Zusätzlich benützt es dann die Videoinformation des konventionellen Weißlichtbildes und des „narrow band Imaging“ NBI - Bildes, um eine Klassifikation mit einer Wahrscheinlichkeitsangabe als NICE-I oder NICE-II Histologie zu treffen [11]. Inzwischen sind weitere Computer- und Softwaresystem als Prototypen auf Kongressen, in Abstrakt-Form und Publikationen vorgestellt worden, die unterschiedliche Ansätze der Polypendetektion verfolgen [12,13]. In einer randomisierten Studie wurden 704 Patienten mit (n=355) und ohne dem Assistenzsystem in einer randomisierten Studie untersucht. Die ADR war mit 16 % signifikant größer in der Gruppe mit Assistenzsystem als in der Kontrollgruppe ohne (8%). Diese ADR sind zwar insgesamt als sehr gering zu bewerten, so dass hier noch ein weiterer Vergleich des Systems in einem Multicenter Setting notwendig ist. Trotzdem belegt diese Studie erstmals in einem prospektiven randomisierten Ansatz, dass mit einem KI-Assistenzsystem eine signifikant gesteigerte ADR bei der Routine Vorsorgekoloskopie erreicht werden kann [12].

Hier wird sicherlich in den nächsten Jahren eine sprunghafte Zunahme der unterschiedlichen Systeme zu verzeichnen sein, so dass man sich sicher um die Qualitätskontrolle und die Zertifizierung solcher Detektionssysteme in den Fachgesellschaften kümmern muss.

Gerade die lernfähigen System der KI und Deep learning Methoden sind auf große Datenmengen von digitalisierten Bildern angewiesen, so dass man auch die Probleme der Datensicherheit, des Datenschutzes und der Eigentumsrechte dieser bei medizinischen Untersuchungen gewonnenen Bilddaten kritisch diskutieren muss.

Der wesentliche Vorteil dieses System mit verbesserten Bildanalyse Möglichkeiten ist jedoch die Möglichkeit, die Beurteilung bei endoskopischen Prozessen zunächst zu unterstützen und ggf. in Zukunft auch automatisiert vorzunehmen.

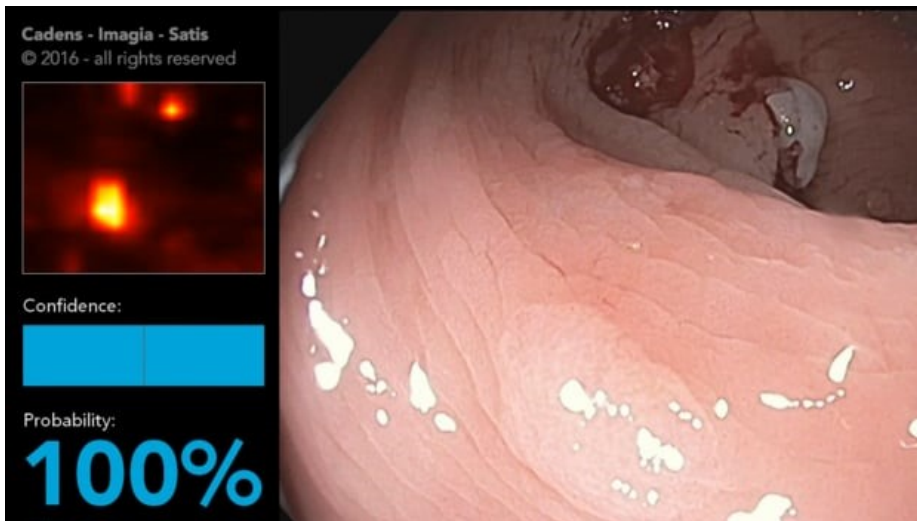


Fig. 7: Automatisierte Polypendetektion mit dem ai4GI Software-System. Die Abbildung zeigt die Polypendetektion mit der Wahrscheinlichkeit der histologischen Einordnung [11].

Inzwischen wurde in den letzten Monaten eine Vielzahl von „deep learning“ Ansätzen und Detektions-Systemen beschrieben und in kleineren Studien untersucht. Diese Systeme wurden eingesetzt um kleine diminutive Polypen (< 5mm) von hyperplastischen Polypen zu differenzieren [11], Polypen bei der Kapselendoskopie zu detektieren [11] oder Polypen im Rahmen der virtuellen Kolonographie mittels CT zu erkennen [14].

Mit der schnell fortschreitenden Technologie des Deep Learning wird die assistierte und automatische Detektion von Polypen in der Live-Video-Bildgebung sicherlich bald zur Routine-Tool der Vorsorgekoloskopie werden [3,15]. Daher ist es sicherlich wichtig, klare Vorgaben zur Qualitätssicherung solcher Systeme zu machen und entsprechende Kriterien festzulegen [16,17]. Die Methodik des Deep Learning wird aber auch andere Bereiche der gastrointestinalen Endoskopie revolutionieren und ein unverzichtbarer Bestandteil der Diagnostik werden [18].

Ein wichtiges Einsatzgebiet wird die Charakterisierung von Typisierung von Läsionen bis hin zu möglichen In vivo Differenzierung im Rahmen der Computer-assistierten Diagnose (CAD) sein.

CAD- Computer assisted diagnosis und artificial intelligence

Eine zusätzliche Komponente der automatisierten Bildanalyse ist die Möglichkeit der Computer-assistierten Diagnose (CAD). Hierbei werden die optischen Charakteristika von polypoiden Strukturen oder Schleimhaut- und Gefäßstrukturen benutzt, um eine histologische Voraussage zu treffen. Dies entspricht den Charakterisierungsversuchen und der Klassifikation des Kudo pit-Pattern, der NICE oder WASP Klassifikation [19].

Mori et al. entwickelte ein auf „machine learning“ basierendes CAD System (EC-CAD system), das die subzellulären Parameter und Gefäßstrukturen benützt, um im Rahmen der Endocytomikroskopie eine pathologische Klassifikation vorherzusagen. In einer Pilotstudie erreichte das System eine Sensitivität von 92,0 % und eine Spezifität von 79,5%. Dabei lag die Sensitivität des Systems in dem Bereich, der auch von erfahrenen Endoskopen erreicht wurde (92,7 %), während bei der Spezifität von den Endoskopen eine höhere Spezifität erreicht wurde (91 %) [20]. In einer Fortentwicklung entwickelte Misawa ein maschinelles lernendes System zur Computer-assistierten Auswertung von

Endocytoskopie (AI-assisted endocytoscopy) [21][10]. Verschiedene Ansätze wurden entwickelt, um die Charakteristika von Polypen im Colon zu beschreiben und zu analysieren [22]. Aber auch hier gewinnen „Deep learning“ Strategien zunehmend an Bedeutung und können z.B. zur Differenzierung von hyperplastischen und kleinen adenomatösen Polypen verwendet werden [11].

Zusammenfassung:

Die automatisierten Auswertesysteme endoskopischer Bilddaten stehen am Rande der Integration in die klinische Routine und diese Methoden werden unseren Arbeitsalltag in Zukunft mitprägen. Aus diesem Grund ist es wichtig, sich diesen Systemen zu öffnen, aber auch deren Risiken und Probleme zu benennen. Während Algorithmen-basierte Systeme meist noch nachvollziehbar und „kontrollierbar“ sind, benützen „Deep-learning“-basierte Systeme häufig Mechanismen, die nicht allgemein logisch oder deduktiv nachvollziehbar sind und auch nicht auf den „Erfahrungen“ der Endoskopiker beruhen. Hier ist es wichtig, Kriterien zur Qualitätskontrolle zu definieren und festzulegen. Für die Anwendung dieser Systeme sind Qualitätsanforderungen und Performance-Standards festzulegen [23]. Außerdem müssen die Systeme in die Ausbildung und den Alltag in adäquater Weise integriert werden. Nicht zuletzt geht es, wie bei allen „Big data“ Anwendungen, um den Datenschutz und die Eigentumsrechte an den digitalen Patienten und Krankheitsdaten, die es zu definieren und zu lösen gilt. Trotz all dieser Aufgaben verspricht die Integration der künstlichen Intelligenz einen Technologie-Sprung, sowohl bei der Detektion, aber vor allem bei der Diagnose von endoskopischen Befunden. Dies könnte sogar dazu führen, dass für bestimmte Befunde die histologische Untersuchung abgelöst bzw. überflüssig gemacht werden könnte. Hier gilt es dann auch nicht zuletzt rechtliche Grenzen und Verantwortlichkeiten beim Einsatz oder Nichteinsatz solcher Systeme zu klären.

Literatur

- 1 Kaminski MF, Regula J, Kraszewska E, Polkowski M, Wojciechowska U, Didkowska J, Zwierko M, Rupinski M, Nowacki MP, Butruk E: Quality indicators for colonoscopy and the risk of interval cancer. *N Engl J Med* 2010;362:1795-1803.
- 2 Corley DA, Levin TR, Doubeni CA: Adenoma detection rate and risk of colorectal cancer and death. *N Engl J Med* 2014;370:2541.
- 3 Alagappan M, Brown JRG, Mori Y, Berzin TM: Artificial intelligence in gastrointestinal endoscopy: The future is almost here. *World J Gastrointest Endosc* 2018;10:239-249.
- 4 Tischendorf JJ, Gross S, Winograd R, Hecker H, Auer R, Behrens A, Trautwein C, Aach T, Stehle T: Computer-aided classification of colorectal polyps based on vascular patterns: a pilot study. *Endoscopy* 2010;42:203-207.
- 5 Gross S, Trautwein C, Behrens A, Winograd R, Palm S, Lutz HH, Schirin-Sokhan R, Hecker H, Aach T, Tischendorf JJ: Computer-based classification of small colorectal polyps by using narrow-band imaging with optical magnification. *Gastrointest Endosc* 2011;74:1354-1359.
- 6 Kominami Y, Yoshida S, Tanaka S, Sanomura Y, Hirakawa T, Raytchev B, Tamaki T, Koide T, Kaneda K, Chayama K: Computer-aided diagnosis of colorectal polyp histology by using a real-time image recognition system and narrow-band imaging magnifying colonoscopy. *Gastrointest Endosc* 2016;83:643-649.
- 7 Fernandez-Esparrach G, Bernal J, Lopez-Ceron M, Cordova H, Sanchez-Montes C, Rodriguez de Miguel C, Sanchez FJ: Exploring the clinical potential of an automatic colonic polyp detection method based on the creation of energy maps. *Endoscopy* 2016;48:837-842.

- 8 Wang Y, Tavanapong W, Wong J, Oh JH, de Groen PC: Polyp-Alert: near real-time feedback during colonoscopy. *Comput Methods Programs Biomed* 2015;120:164-179.
- 9 Klare P, Sander C, Prinzen M, Haller B, Nowack S, Abdelhafez M, Poszler A, Brown H, Wilhelm D, Schmid RM, von Delius S, Wittenberg T: Automated polyp detection in the colorectum: a prospective study (with videos). *Gastrointest Endosc* 2019;89:576-582 e571.
- 10 Misawa M, Kudo SE, Mori Y, Nakamura H, Kataoka S, Maeda Y, Kudo T, Hayashi T, Wakamura K, Miyachi H, Katagiri A, Baba T, Ishida F, Inoue H, Nimura Y, Mori K: Characterization of Colorectal Lesions Using a Computer-Aided Diagnostic System for Narrow-Band Imaging Endocytoscopy. *Gastroenterology* 2016;150:1531-1532 e1533.
- 11 Byrne MF, Chapados N, Soudan F, Oertel C, Linares Perez M, Kelly R, Iqbal N, Chandelier F, Rex DK: Real-time differentiation of adenomatous and hyperplastic diminutive colorectal polyps during analysis of unaltered videos of standard colonoscopy using a deep learning model. *Gut* 2019;68:94-100.
- 12 Gong D, Wu L, Zhang J, Mu G, Shen L, Liu J, Wang Z, Zhou W, An P, Huang X, Jiang X, Li Y, Wan X, Hu S, Chen Y, Hu X, Xu Y, Zhu X, Li S, Yao L, He X, Chen D, Huang L, Wei X, Wang X, Yu H: Detection of colorectal adenomas with a real-time computer-aided system (ENDOANGEL): a randomised controlled study. *Lancet Gastroenterol Hepatol* 2020
- 13 Liu W, Zhang Y, Bian X, Wang L, Yang Q, Zhang X, Huang J: Study on detection rate of polyps and adenomas in artificial-intelligence-aided colonoscopy. *Saudi J Gastroenterol* 2020
- 14 Jerebko AK, Malley JD, Franaszek M, Summers RM: Support vector machines committee classification method for computer-aided polyp detection in CT colonography. *Acad Radiol* 2005;12:479-486.
- 15 Kudo SE, Mori Y, Misawa M, Takeda K, Kudo T, Itoh H, Oda M, Mori K: Artificial intelligence and colonoscopy: Current status and future perspectives. *Dig Endosc* 2019;31:363-371.
- 16 Mori Y: Artificial intelligence and colonoscopy: the time is ripe to begin clinical trials. *Endoscopy* 2019;51:219-220.
- 17 Vinsard DG, Mori Y, Misawa M, Kudo SE, Rastogi A, Bagci U, Rex DK, Wallace MB: Quality assurance of computer-aided detection and diagnosis in colonoscopy. *Gastrointest Endosc* 2019;90:55-63.
- 18 Min JK, Kwak MS, Cha JM: Overview of Deep Learning in Gastrointestinal Endoscopy. *Gut Liver* 2019;13:388-393.
- 19 Kudo S, Tamura S, Nakajima T, Yamano H, Kusaka H, Watanabe H: Diagnosis of colorectal tumorous lesions by magnifying endoscopy. *Gastrointest Endosc* 1996;44:8-14.
- 20 Mori Y, Kudo SE, Wakamura K, Misawa M, Ogawa Y, Kutsukawa M, Kudo T, Hayashi T, Miyachi H, Ishida F, Inoue H: Novel computer-aided diagnostic system for colorectal lesions by using endocytoscopy (with videos). *Gastrointest Endosc* 2015;81:621-629.
- 21 Misawa M, Kudo SE, Mori Y, Cho T, Kataoka S, Yamauchi A, Ogawa Y, Maeda Y, Takeda K, Ichimasa K, Nakamura H, Yagawa Y, Toyoshima N, Ogata N, Kudo T, Hisayuki T, Hayashi T, Wakamura K, Baba T, Ishida F, Itoh H, Roth H, Oda M, Mori K: Artificial Intelligence-Assisted Polyp Detection for Colonoscopy: Initial Experience. *Gastroenterology* 2018;154:2027-2029 e2023.
- 22 Fu JJ, Yu YW, Lin HM, Chai JW, Chen CC: Feature extraction and pattern classification of colorectal polyps in colonoscopic imaging. *Comput Med Imaging Graph* 2014;38:267-275.
- 23 Rex DK, Kahi C, O'Brien M, Levin TR, Pohl H, Rastogi A, Burgart L, Imperiale T, Ladabaum U, Cohen J, Lieberman DA: The American Society for Gastrointestinal Endoscopy PIVI (Preservation and Incorporation of Valuable Endoscopic Innovations) on real-time endoscopic assessment of the histology of diminutive colorectal polyps. *Gastrointest Endosc* 2011;73:419-422.