

## СОВРЕМЕННАЯ ЭНДОСКОПИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПРЕДРАКОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И РАННЕГО РАКА ЖЕЛУДКА И ТОЛСТОЙ КИШКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ\*

Бунцева О. А.<sup>1,2</sup>, Галкова З. В.<sup>1</sup>, Плахов Р. В.<sup>1</sup>, Эрендженова К. Ю.<sup>3</sup>, Федоров Е. Д.<sup>1</sup>, Мизгулин В. В.<sup>4</sup>, Кадушников Р. М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Научно образовательный центр абдоминальной хирургии и эндоскопии с НИЛ хирургической гастроэнтерологии и эндоскопии РНИМУ имени Н. И. Пирогова, Москва.

<sup>2</sup> МГУ имени М. В. Ломоносова, Факультет фундаментальной медицины, Москва.

<sup>3</sup> РНИМУ имени Н. И. Пирогова, Кафедра мкдицинской кибернетики и информатики, Москва.

<sup>4</sup> ООО «СИАМС», 620078, г. Екатеринбург, ул. Коминтерна, д. 16, оф. 604

## MODERN ENDOSCOPIC DIAGNOSIS OF PRECANCEROUS LESIONS AND EARLY CANCERS OF THE STOMACH AND COLON USING COMPUTER DECISION SUPPORT SYSTEMS

Buntseva O. A.<sup>1,2</sup>, Galkova Z. V.<sup>1</sup>, Plakhov R. V.<sup>1</sup>, Erendgenova K. Yu.<sup>3</sup>, Fedorov E. D.<sup>1</sup>, Mizgulin V. V.<sup>4</sup>, Kadushnikov R. M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Research Educational Center of Abdominal Surgery and Endoscopy, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow.

<sup>2</sup> Department of general and specialized surgery, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University, Moscow.

<sup>3</sup> Department of Medical Cybernetics and Informatics, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow.

<sup>4</sup> Limited Liability Company «SIAMS», 620078 Yekaterinburg, Komintern st., 16, office 604.

\* Иллюстрации к статье — на цветной вкладке в журнал.

**Кадушников Радий Михайлович** — к.ф.-м.н., директор ООО «СИАМС».

**Мизгулин Вячеслав Владимирович** — к.т.н., руководитель отдела передовых разработок ООО «СИАМС».

**Федоров Евгений Дмитриевич** — д.м.н., главный научный сотрудник научно исследовательской лаборатории хирургической гастроэнтерологии и эндоскопии, Научно Образовательного Центра абдоминальной хирургии и эндоскопии РНИМУ имени Н. И. Пирогова.

**Галкова Залина Викторовна** — к.м.н., ведущий научный сотрудник научно исследовательской лаборатории хирургической гастроэнтерологии и эндоскопии, Научно Образовательного Центра абдоминальной хирургии и эндоскопии РНИМУ имени Н. И. Пирогова.

**Плахов Роман Валентинович** — к.м.н., доцент кафедры госпитальной хирургии № 2, сотрудник НОЦ абдоминальной хирургии и эндоскопии РНИМУ имени Н. И. Пирогова.

**Эрендженова Кермен Юрьевна** — младший научный сотрудник кафедры медицинской кибернетики и информатики РНИМУ имени Н. И. Пирогова.

**Бунцева Ольга Александровна** — аспирант кафедры общей и специализированной хирургии Отделение эндоскопии. ФФМ МГУ имени М. В. Ломоносова.

**Buntseva Olga** — postgraduate student, Department of general and specialized surgery, Faculty of Fundamental Medicine, Endoscopy Division, Lomonosov Moscow State University.

**Mizgulin Vyacheslav** — PhD, postgraduate, Department of general and specialized surgery, Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University. Head of Perspective Development dept. Limited Liability Company «SIAMS».

Бунцева  
Ольга Александровна

Buntseva Olga A.

E-mail:

BuntsevaOlga@mail.ru

Мизгулин Вячеслав  
Владимирович

Mizgulin Vyacheslav

E-mail:

mizgulin@simagis.com

### Резюме

Современные эндоскопические технологии позволяют производить прецизионную диагностику эпителиальных новообразований желудка и толстой кишки и прогнозировать их гистологическое строение. В настоящее время на основе применения узкоспектральной эндоскопии с увеличением разработано множество различных эндоскопических классификаций поверхностных эпителиальных образований в соответствии с их морфологией. При колоноскопии для дифференциальной диагностики доброкачественных изменений, неоплазии легкой степени и раннего рака наиболее широко используются классификации поверхностного рисунка эпителия S. Kudo и микрососудистого рисунка слизистой оболочки Y. Sano, которые подтвердили свою эффективность в проспективных исследованиях. Для желудка на сегодняшний день нет общепризнанной удобной классификации, позволяющей с высокой точностью и воспроизводимостью дифференцировать эпителиальные образования на доброкачественные и неопластические, а также ранний рак. Однако наиболее распространена в настоящее время VS-классификация, разработанная К. Yao и учитывающая регулярность поверхностного и микрососудистого рисунков слизистой оболочки желудка, а также наличие демаркационной линии на границе с окружающей слизистой оболочкой. Для повышения эффективности эндоскопической диагностики с применением разработанных классификаций, выявления новых критериев диагностики, обучения молодых специалистов и внедрения классификаций в широкую практику в настоящее время с успехом разрабатываются компьютерные системы поддержки принятия решений врача.

**Ключевые слова:** эндоскопическая диагностика, узкий спектр, увеличение, классификации, рисунок слизистой оболочки, компьютерный анализ, системы поддержки принятия решений врача.

Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология 2014; 110 (10):88–96

## Summary

Modern endoscopic techniques allow a precise diagnosis of superficial epithelial lesions of the stomach and colon and predict their histological structure. Currently, there are a variety of endoscopic classifications based on the use of magnifying endoscopy and NBI for superficial epithelial lesions according to their morphology. For differential diagnosis of benign lesions, mild neoplasia and early cancer in the colon we commonly use the pit-pattern classification of the surface epithelium created by S. Kudo and mucosal capillary pattern classification created by Y. Sano, which have proven effectiveness in prospective studies. For the stomach to date there is no universally accepted comfortable reliable classification for differentiation benign and neoplastic gastric lesions. However, VS-classification, created by K. Yao, is the most prevalent and effective classification today. It is based on regularity of the vascular and surface (V&S) patterns of the gastric mucosa and presence of the demarcation line on the border with the surrounding mucosa. To increase the efficiency of endoscopic diagnosis with using of these classifications, to identify new diagnostic criteria, to train young specialists and to help skilled doctors computer decision support systems for a physician are successfully developed now.

**Keywords:** endoscopic diagnosis, narrow band imaging (NBI), magnifying endoscopy, classifications, pit-pattern, vascular pattern, capillary pattern, computer-aided systems, computer decision support system.

*Ekspertimantal'naya i Klinicheskaya Gastroenterologiya* 2014; 110 (10):88–96

## Введение

Ранняя диагностика предраковых состояний, изменений и собственно раннего рака желудка (РРЖ) и толстой кишки — важнейшее условие эффективной профилактики и лечения этих грозных заболеваний. Теория канцерогенеза, общепринятая в научном сообществе, трактует основной — наиболее часто встречающийся путь развития рака желудка и толстой кишки, как последовательную смену его предшественников — от предопухолевых состояний до предраковых изменений — с появлением и постепенным нарастанием степени интраэпителиальной неоплазии (дисплазии) эпителия. Среди всех методов ранней диагностики этих поражений наиболее надежным остаётся эндоскопическое исследование, которое позволяет заподозрить опухолевое изменение/поражение и выполнить прицельное взятие материала для морфологического изучения. Заключительным этапом и «золотым стандартом» диагностики является гистологическое/цитологическое исследование, определяющее

и подтверждающее болезнь на микроскопическом и клеточно-молекулярном уровне.

Повышение разрешающей способности эндоскопического оборудования, развитие методик уточняющей диагностики уже сегодня позволяют эндоскописту рассмотреть тонкую структуру слизистой оболочки пищеварительного тракта и на основании выявленных изменений, с достаточно высокой степенью достоверности, предсказать её гистологическое строение. Это даёт возможность непосредственно в ходе диагностического исследования определить дальнейшую лечебную тактику, в т.ч. произвести прицельную биопсию, либо одномоментное эндоскопическое удаление новообразования.

С целью объективизации врачебных заключений, помощи специалистам в проведении дифференциальной диагностики и в обучении молодых врачей разрабатываются аналитические программные комплексы и компьютерные системы поддержки принятия клинических решений.

## Возможности эндоскопической диагностики

Цифровая видеоэндоскопия высокого разрешения (ВР) обеспечивает высокое качество визуализации и детализации получаемых изображений. ВР-эндоскопия позволяет осмотреть тонкую структуру слизистой оболочки органов пищеварительного тракта с отдельными железами и окружающими их капиллярами в качестве структурных элементов. Кроме того, разработаны эндоскопические системы, позволяющие оптически увеличивать получаемое изображение до 115–140 раз (zoom), обеспечивая ещё более подробную оценку формы и размеров отдельных структурных элементов слизистой оболочки, что представляет собой предгистологический уровень исследования. Используя знания о патогистологических изменениях слизистой оболочки при различных поражениях, в том числе аденомах и раннем раке, мы можем с приемлемой точностью диагностировать эти изменения эндоскопически.

Наряду с ВР-эндоскопией в белом свете, широко применяются методики усовершенствования эндоскопических изображений, позволяющие подчеркнуть рельеф поверхности слизистой оболочки (за счёт распыления красителей, либо 1,5% раствора уксусной кислоты) и её сосудистую сеть (виртуальная «хромоскопия», узкоспектральная эндоскопия). Традиционная хромоскопия проводится путем непосредственного распыления красителя на поверхность слизистой оболочки (контрастный краситель индиго карминовый, абсорбирующиеся — метиленовый синий, генциан фиолетовый). «Виртуальная хромоскопия» достигает эффекта контрастирования рельефа слизистой оболочки и ее сосудистой сети за счет применения специальных светофильтров в эндоскопических системах или компьютерной обработки получаемого изображения. К ним относятся технологии NBI (Olympus),

FICE (Fujifilm), i-scan (Pentax), SPIES (Karl Storz). Наибольшее распространение получила методика узкоспектральной эндоскопии (NBI), при использовании которой слизистая оболочка освещается синим и зеленым светом узкого спектра (415 и 540 нм). Этот свет практически полностью поглощается гемоглобином крови в сосудах на разной глубине (в соответствии с длиной волны), за счет чего сосуды приобретают темный цвет на фоне светлой окружающей ткани [1].

Менее широко применяются другие уточняющие эндоскопические методики. Для первичного

выявления неопластических изменений в слизистой оболочке желудка и толстой кишки применяется флуоресцентная эндоскопия, обладающая высокой чувствительностью, но низкой специфичностью, что обуславливает ее эффективность лишь в комплексе с другими уточняющими эндоскопическими методиками (хромоскопия, NBI, эндоскопия с увеличением) [2]. Конфокальная лазерная эндомикроскопия и эндоцитоскопия позволяют рассмотреть слизистую оболочку при увеличении в 1000 и более раз, однако возможности и показания для применения этих методик в настоящее время исследуются.

## Повышение точности эндоскопического исследования с применением уточняющих методик

Многочисленные исследования показали, что применение дополнительных эндоскопических методик улучшения изображения, а также использование увеличения в комплексе с традиционным эндоскопическим исследованием значительно повышает его диагностическую чувствительность (ДЧ) и специфичность (ДС) при выявлении и разграничении предраковых поражений и раннего рака от доброкачественных изменений. [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8] Так согласно проспективному исследованию Y. Ezo, дополнительное использование NBI повышает эффективность эндоскопии с увеличением в дифференциальной диагностике злокачественных и доброкачественных очаговых поражений желудка без увеличения времени исследования [4, 8]. Точность диагностики с использованием NBI составила 79%, без его использования — лишь 44% ( $p=0,0001$ ), соответственно ДЧ 70% против 33% ( $p=0,0005$ ) и ДС 89% против 67% ( $p>0,05$ ). Исследование S. Kadowaki показало, что применение орошения 1,5% раствором уксусной кислоты в комбинации с NBI повышало контрастность

изменений рельефа слизистой оболочки и точность определения границ РРЖ с помощью эндоскопии с увеличением [9]. По мнению M. Kato, применение комбинации флуоресцентной и NBI+zoom эндоскопии (узкоспектральная эндоскопия с увеличением) позволяет добиться наиболее высокой точности в диагностике РРЖ (ДЧ 89,4%, ДС 98,0%). [2]

A. Rastogi в проспективном исследовании показал большую точность дифференциальной диагностики аденом и гиперпластических полипов толстой кишки при ВР-эндоскопии с NBI (93%), чем в белом свете (61%) [10]. J. Tischendorf и соавт. в своем исследовании выявили, что ВР-эндоскопия в режиме NBI и NBI в комбинации с увеличением в толстой кишке характеризуются равно высокой эффективностью в дифференциальной диагностике доброкачественных очаговых поражений и неоплазий (соответственно ДЧ 87,9% и 92,1%, ДС 90,5% и 89,2%), по сравнению с низкой точностью традиционной эндоскопии в белом свете (с увеличением и без него). [5]

## Микроархитектоника и микрокапиллярный рисунок слизистой оболочки

Современные эндоскопические системы позволяют различать минимальные изменения в микроструктуре слизистой оболочки желудка и толстой кишки, которая имеет принципиально сходное строение. Она выстлана однослойным призматическим эпителием, формирующим железы слизистой оболочки. Эти железы имеют форму «мешочков» с толстыми стенками и узким устьем; при этом выводные протоки этих желез формируют на поверхности слизистой оболочки микроскопические ямки, а окружающие их тканевые структуры — кольцевидные «холмики» (рис. 1 на цветной вклейке в журнал). Эндоскопическая картина, которую формируют устья желез на поверхности слизистой оболочки

и которую лучше всего видно при исследовании с увеличением и окраской, получила название ямочного рисунка (pit pattern). Железы окружены капиллярами, сплетающимися в характерную регулярную сеть, формируя тонкий микрососудистый рисунок слизистой оболочки (vascular pattern, capillary pattern) (рис. 1).

Прямое сравнение микроэндоскопической и морфологической картины одного и того же участка диффузного, либо очагового поражения слизистой оболочки, позволяет накопить соответствующую базу данных, достаточную для разработки эндоскопических критериев диагностики и классификации выявленных изменений.

## Эндоскопические классификации микроархитектоники и микрокапиллярного рисунка слизистой оболочки толстой кишки

В норме ямочный рисунок слизистой оболочки всех отделов толстой кишки примерно одинаков и представлен ямками равномерной округлой формы, а микрокапиллярный рисунок формирует регулярную округлую сеть вокруг ямок эпителия (рис. 1). Результаты многочисленных исследований

показали, что нормальная слизистая оболочка, гиперпластические изменения, аденомы и рак толстой кишки обладают различной, характерной для них эндоскопической картиной ямочного и сосудистого рисунка. В частности, исследования одного из пионеров этого направления профессора S. Kudo

выявили устойчивую связь между ямочным рисунком слизистой оболочки толстой кишки и ее гистологическим строением. Используя хромоскопию и эндоскопию с увеличением, авторы выделили сначала 6, а затем 7 характерных типов ямочного рисунка слизистой оболочки и новообразований толстой кишки, в соответствии с их гистологическим строением [11]. Согласно исследованию, округлый ямочный рисунок (I тип) соответствовал нормальной слизистой оболочке толстой кишки в 100 % случаев; мелко- и крупнозвездчатая форма ямок (II тип) соответствовали в 100 % случаев гиперпластическим полипам или зубчатым аденомам; овальный (III<sub>1</sub>) и извилистый мозговидный (IV) типы ямочного рисунка соответствовали аденоме в 100 %; мелкий округлый (III<sub>2</sub>) тип ямочного рисунка в 72 % случаев соответствовал дисплазии высокой степени и в 28 % случаев — раку; нерегулярный (V) ямочный рисунок — дисплазии высокой степени и аденокарциноме, ограниченной слизистой оболочкой и поверхностными отделами подслизистого слоя; разрушенный ямочный рисунок (V<sub>N</sub>) — аденокарциноме с глубокой подслизистой инвазией (рис. 2). В дальнейшем V<sub>i</sub> тип ямочного рисунка был подразделен на два типа: с незначительной нерегулярностью (соответствует внутрислизистой неоплазии или поверхностной инвазии в подслизистый слой) и с выраженной нерегулярностью (соответствует глубокой инвазии в подслизистый слой). Такое деление достаточно сложно, но эффективное применение этой классификации, а также ее аналогов, было подтверждено в последующих исследованиях [12, 13, 14]. Видоизмененная T. Fujii, клиническая классификация Kudo оказалась достаточно удобной и эффективной в дифференциальной диагностике неинвазивной неоплазии или раннего рака с поверхностной инвазией (sm1 — <1000 μm) и раннего рака с глубокой инвазией в подслизистый слой (>1000 μm): ДЧ 85,6 %, ДС 99,4 %, точность 98,8 %, что согласно рекомендациям Японского общества по изучению рака толстой кишки крайне важно для выбора эндоскопического или хирургического метода лечения. [15,16]

Y. Sano и коллеги разработали классификацию поверхностных эпителиальных образований толстой кишки согласно строению капиллярной сети слизистой оболочки при исследовании в узкоспектральном режиме с увеличением [17]. Авторы выделили три основных типа капиллярного рисунка: serrillary pattern (CP) -I — регулярный капиллярный рисунок окружающий ямки эпителия по типу пчелиных сот, слабо различимый или вовсе невидимый — характерен для гиперпластических полипов; CP-II — четко видимая микрососудистая сеть на поверхности образования, формирующая округлые, овальные или по типу пчелиных сот ячейки — характерный для неоплазии низкой степени (3,7 % — ненеопластические образования, 93,5 % — неоплазия низкой степени, 2,8 % — неоплазия высокой степени); CP-III — нерегулярная четко видимая микрососудистая сеть на поверхности образования (присутствует по крайней мере один признак нерегулярности: размер, сложное ветвление, извилистость, разрушение) — характерный

для неоплазии высокой степени (3,1 % — ненеоплазия, 12,5 % — неоплазия низкой степени, 18,8 % — неоплазия высокой степени, 65,6 % — инвазивный рак). Точность классификации в дифференцировке типов 1 и 2 составила 95,3 %, а в дифференцировке типов 2 и 3 — ДЧ 90,3 %, ДС 97,1 %, общая точность 95,5 % [18]. В дальнейшем тип CP-III был подразделен на два подтипа, характеризующих глубину инвазии поверхностных неоплазий: IIIA тип (внутрислизистая неоплазия или с минимальной подслизистой инвазией — менее 1000 мкм) характеризуется наличием видимой капиллярной сети на поверхности образований, с высокой плотностью сосудов, неоднородностью формы, прерывистостью, ветвистостью и умеренной нерегулярностью капилляров; IIIB тип (неоплазия с глубокой инвазией в подслизистый слой — более 1000 мкм) характеризуется выраженными различиями между нормальной и патологической сосудистой сетью (демаркационная линия на границе), наличием аваскулярных зон. Общая диагностическая точность данного подхода составила 87,7 % (ДЧ 84,8 %, ДС 88,7 %), при этом отрицательная прогностическая ценность (точность результата CP тип IIIA) — 94,5 %, положительная прогностическая ценность (точность результата CP тип IIIB) — 71,8 % (рис. 3) [17]. В исследовании был продемонстрирован высокий уровень согласия между экспертами, анализировавшими изображения.

В последующем сравнительные исследования показали, что хромоскопия и NBI в комбинации с увеличением в общем одинаково полезны для дифференцировки доброкачественных изменений и неопластических образований, а их применение снижает количество полипэктомий и биопсий из гиперпластических полипов. Однако для прогнозирования инвазии образования в подслизистый слой, что важно для выбора метода лечения, анализ ямочного рисунка несколько более эффективен по сравнению с анализом капиллярного рисунка. Поэтому в случае подозрения на инвазию исследование в режиме NBI нужно дополнять хромоскопией с тщательной оценкой ямочного рисунка [19].

Преимущественно в Японии применяются еще несколько классификаций эпителиальных образований толстой кишки на основе строения капиллярного рисунка (по данным узкоспектральной эндоскопии с увеличением): классификация Hiroshima, классификация Showa и некоторые другие. С целью упрощения использования и объединения данных классификаций в 2011 году группой экспертов из Японии, США и Европы была разработана NICE (NBI international colorectal endoscopic) классификация. Данная классификация может применяться как при обычной ВР-колоноскопии, так и при колоноскопии с увеличением. Согласно NICE классификации выделяется три группы образований толстой кишки (1) гиперпластические образования; 2) аденомы, внутрислизистый рак и рак с минимальной подслизистой инвазией; 3) рак с глубокой подслизистой инвазией), — на основании определения трех признаков: цвет образования, микрососудистая архитектура и поверхностный (ямочный) рисунок (рис. 4). Первые исследования уже показали достаточно

**Рисунок 4.**

Объединенная NICE-классификация поверхностных эпителиальных образований толстой кишки — в соответствии с гистологическим строением и лечебной тактикой. [20,21]

	Тип 1	Тип 2	Тип 3
<b>Цвет</b>	Подобный окружающей слизистой оболочке или более светлый	Более коричневый, чем окружающая слизистая (за счет сосудов)	Темно-коричневый по сравнению с окружающей слизистой оболочкой, иногда с белесыми пятнами
<b>Сосуды</b>	Не визуализируются или едва заметны	Коричневые сосуды окружают светлые регулярные структуры (ямки)	В некоторых областях сосудистый рисунок разрушен, не визуализируется
<b>Поверхностный рисунок</b>	Темные или светлые пятна одинакового размера или однородное отсутствие рисунка	Овальные, тубулярные, извитые светлые структуры, окруженные коричневыми сосудами	Поверхностный рисунок стертый или отсутствует
<b>Наиболее вероятная гистология</b>	Гиперплазия	Аденома, аденокарцинома m, sm1	Аденокарцинома sm2
<b>Лечебная тактика</b>	Удаление не требуется	Эндоскопическое удаление	Хирургическое лечение

высокую эффективность данной классификации (точность в дифференцировке 1 и 2 типа — 89 %, 2 и 3 типа — 84 %) [20,21].

Несмотря на высокие диагностические характеристики, полученные опытными экспертами — авторами данных классификаций, их применение в повседневной клинической практике остается

достаточно сложной задачей. В первую очередь это касается начинающих и недостаточно опытных эндоскопистов, что подтверждается сниженной точностью диагностики и низким уровнем согласия, а соответственно, требует прицельного дополнительного обучения и накопления достаточного опыта интерпретации эндоизображений [14, 22].

### Эндоскопические классификации микроархитектоники и микрокапиллярного рисунка слизистой оболочки желудка

В норме тонкая структура слизистой оболочки желудка различается в зависимости от отдела. Для проксимальных отделов характерен округлый ямочный рисунок, сочетающийся с округлой регулярной капиллярной сетью (по типу пчелиных сот). Для дистальных отделов желудка и, прежде всего, антрального отдела, характерен удлиненный однородный палочковидный ямочный рисунок и капиллярный рисунок также в виде палочковидных структур, расположенных между железами (рис. 1). Дополнительные изменения в структуру ямочного и микрососудистого рисунка вносят часто выявляемые в слизистой оболочке желудка воспалительные, атрофические изменения, кишечная метаплазия эпителия, что также потребовало разработки для этих состояний эндоскопических классификаций, учитывающих изменения ямочного и сосудистого рисунка слизистой оболочки [23]. Продолжается разработка классификации для дифференциальной диагностики очаговых доброкачественных изменений и эпителиальных неоплазий желудка, однако общепринятая, удобная для всех классификация до сих пор не создана.

Крупные проспективные исследования показывают, что в дифференциальной диагностике плоских и углубленных форм раннего рака желудка и проявлений хронического гастрита наиболее важное значение имеет структура капиллярного рисунка, для оценки которой необходимо выполнять эндоскопическое исследование в узкоспектральном режиме с увеличением. Так одними из первых К. Yao с соавт. выдвинули следующие

признаки РРЖ плоского и углубленного типа: 1) исчезновение нормальной капиллярной сети; 2) появление нерегулярного капиллярного рисунка; 3) наличие четкой разграничительной границы с нормальной слизистой оболочкой — демаркационной линии [24]. Проспективное исследование (n=158, РРЖ — 14) показало высокую диагностическую точность критерия нерегулярной капиллярной сети — 98,7 %, а также 100 % негативную прогностическую ценность наличия демаркационной линии на границе образования и исчезновения нормальной капиллярной сети. Это означает, что если при исследовании в узкоспектральном режиме с увеличением мы не видим демаркационной линии и видим нормальный капиллярный рисунок в области очага и окружающей слизистой, мы можем с очень большой уверенностью утверждать, что это не раковое поражение, что в перспективе должно способствовать снижению количества биопсий [25]. Y. Ezo и коллеги в многоцентровом рандомизированном контролируемом исследовании (n=353) углубленных или плоских новообразований менее 1 см подтвердили высокую специфичность для РРЖ двух критериев: нерегулярной микрососудистой сети и наличия демаркационной линии [8].

По данным проведенных исследований, для раннего рака желудка выступающего типа характерны изменения как в структуре капиллярного, так и ямочного рисунка слизистой оболочки. К. Yao и коллеги разработали так называемую VS-классификацию (vascular & surface — в переводе

с английского сосуды и поверхность), согласно которой признаками РРЖ слизистой: нерегулярность микрососудистого и/или ямочного рисунка слизистой оболочки с наличием демаркационной линии на границе с окружающей неизмененной слизистой. Нерегулярность определяется как неоднородность размера, формы, взаимоположения ямок; неоднородность диаметра и формы капилляров, их извитость, а также стертость ямочного рисунка (рис. 5) [26]. Успешное применение на практике и эффективность данной классификации в диагностике РРЖ была подтверждена в проспективных исследованиях (точность 90–92 %) [6, 27, 28].

Исследователи М. Kaise, М. Kato и коллеги на основе анализа изображений (в режиме NBI+zoom) в качестве критериев раннего рака желудка выдвинули триаду признаков, характеризующих изменения в капиллярном и ямочном рисунке: стертость поверхностного рисунка, дилатация и гетерогенность капилляров слизистой оболочки (рис. 6). Авторы подтвердили эффективность разработанного подхода в проспективном исследовании (n=101): ДЧ — 92,9 %, ДС — 94,7 % [3].

Эффективность приведенных классификаций была подтверждена в исследовании отечественных авторов, которые на основании анализа 148 очаговых образований желудка выделили три группы риска присутствия рака желудка: 1) риск близок к нулю — при правильном поверхностном и сосудистом рисунке; 2) риск менее 50 % — при неправильном ямочном и правильном/неправильном капиллярном рисунке; 3) риск более 50 % — при отсутствующем ямочном и неправильном капиллярном рисунке. Авторы также исследуют возможности компьютерной обработки изображений с целью повышения точности эндоскопической диагностики [29].

Многие исследователи пытались разработать классификации ямочного рисунка, прежде всего, для выступающих форм эпителиальных образований желудка, а также выделить конкретные типы ямочного и сосудистого рисунка, характеризующие доброкачественные изменения, неоплазии легкой степени и ранний рак, однако все они сложны, субъективны и недостаточно точны, что ограничивает их применение [30, 31, 32].

Приведенные выше классификации позволяют с высокой точностью дифференцировать рак желудка от доброкачественных изменений слизистой оболочки. Однако вопрос дифференцировки аденом или неоплазии низкой степени от РРЖ остается нерешенным. Из опыта экспертов следует, что аденомы желудка чаще всего имеют выступающую форму роста и белесоватую окраску за счет белого непрозрачного вещества (white opaque substance) на поверхности, которое частично прикрывает сосудистую сеть, их трудно отграничить от очагов кишечной метаплазии, на фоне которой они часто

выявляются. Считается, что изменения ямочного и капиллярного рисунка на их поверхности имеют место, но менее выражены, чем в случае аденокарциномы [33, 34]. Аденомы углубленного типа встречаются реже, но несут больший злокачественный потенциал, они характеризуются регулярным очень мелким сетчатым микрососудистым рисунком в отличие от карцином, для которых характерен нерегулярный мелкий сетчатый рисунок [35]. Но в целом четких эндоскопических критериев, специфичных для аденомы, не разработано [6, 28, 30, 31, 32].

Результаты исследований Т. Nakayoshi и А. Yokoyama позволили выделить особенности ямочного и капиллярного рисунка по данным узкоспектральной эндоскопии с увеличением, характерные для высоко- и низкодифференцированного РРЖ. Для первого больше характерен мелкий сетчатый сосудистый рисунок — патологическая капиллярная сеть, окружающая маленькие деформированные железистые структуры (в 66,1 % случаев — высокодифференцированный РРЖ); для второго — штопорообразный сосудистый рисунок — отсутствие поверхностных структур слизистой оболочки (желез) с наличием множества патологических штопорообразных сосудов (в 85,7 % случаев — низкодифференцированный РРЖ); третий вариант — внутридольковые петли 2 типов (промежуточные варианты сосудистого рисунка) [36, 37]. Эффективность данных классификаций нашла подтверждение в дальнейших исследованиях. [27]

Стертый, разрушенный ямочный рисунок и наличие извитых, изолированно расположенных штопорообразных сосудов может также быть признаком инвазии РРЖ в подслизистый слой [38, 39, 40]. Однако более специфических эндоскопических критериев инвазивного РРЖ по данным эндоскопии с увеличением на сегодняшний день не выявлено [23].

Несмотря на значительные успехи в использовании приведенных классификаций авторами и их последователями, предлагаемые эндоскопические критерии недостаточно объективны и трудны в применении на практике. Кроме того, отсутствуют эффективные классификации для дифференциальной диагностики аденом/неоплазий легкой степени от доброкачественных изменений и РРЖ, а также критерии глубины инвазии РРЖ, что важно для определения лечебной тактики в соответствии с существующими рекомендациями [41].

Одним из возможных путей решения этих вопросов является привлечение компьютерного анализа и искусственного интеллекта с целью объективизации оценки эндоскопических изображений, выявления наиболее специфичных признаков неоплазий и доброкачественных изменений и разработки системы поддержки принятия решений врача для ежедневного использования в практике и обучения молодых специалистов.

## Системы поддержки принятия решений в эндоскопии

Благодаря высокому качеству эндоскопических изображений и применению различного рода алгоритмов для их анализа, исследователям удалось разработать компьютерные программы для

первичного выявления патологических образований желудка и толстой кишки, для дифференциальной диагностики доброкачественных и злокачественных поражений и даже глубины

инвазии рака. Большинство исследований посвящено диагностике новообразований толстой кишки, что обусловлено, прежде всего, наличием эффективных классификаций ямочного и капиллярного рисунка в соответствии с гистологическим строением различных образований толстой кишки [15, 17]. Исследования показывают неплохие результаты, однако точность программ сравнима с экспертным мнением [42]. В литературе представлен успешный опыт разработки программ для определения границы уплощенных форм РРЖ, а также дифференцировки РРЖ от доброкачественных изменений при использовании эндоскопических изображений в режиме FICE с точностью до 86% [43, 44]. Известен также менее успешный опыт разработки аналитической системы на основе базы данных узкоспектральных изображений с увеличением для выявления неоплазии желудка (точность системы была в диапазоне 0,39–0,87) [45].

Австрийская группа ученых провела подробное исследование литературы по компьютерным системам поддержки принятия решений в эндоскопии желудочно-кишечного тракта, опубликованной с 1988 по 2010 годы [46]. В списке цитируемой литературы этой работы представлено 113 источников. Наиболее популярным подходом к интеллектуальному анализу эндоскопических изображений является «bag of features». Часто встречается другое название этого подхода «bag of visual words» (рис. 7) [47].

Перед началом клинической эксплуатации система поддержки принятия решений должна пройти обучение на примерах. Для этого необходимо составить обучающую и тестовую выборки эндоскопических изображений, для которых уже известно достоверное гистологическое строение. Все изображения обучающей выборки подвергаются предварительной обработке с целью выделения на них специфичных объектов или областей (features). Назовем их признаками. Если признаки указаны заранее, например, обведены, это может существенно увеличить точность системы, однако существуют методы автоматического выделения признаков: использование регулярной сетки или комбинаций сеток, поиск экстремумов и др. Методы могут быть скомбинированы для выделения большего количества признаков. Все признаки, выделенные на изображениях обучающей выборки, представляются в компактном векторном виде. Для изображений с характерной текстурой, как в случае эндоскопии с увеличением, обычно рассчитывают градиенты вдоль осей по каждому пикселю. Полученный набор векторов раскладывают по нескольким направлениям, получая тем самым для каждого признака соответствующий вектор в многомерном пространстве (рис. 8).

«Розы градиентов», приведенные на рисунке 8, являются упрощенными визуализациями 8-мерных векторов (каждая стрелка — измерение). Если приложить такой вектор к началу координат, он укажет на точку в 8-мерном пространстве, которая будет характеризовать соответствующий признак эндоскопического изображения. Таким образом, всю обучающую выборку мы можем описать облаком точек в 8-мерном пространстве. Каждый

признак, выделенный компьютером на эндоскопическом изображении, уникален, поскольку представляется отдельной точкой, однако глазом можно различить схожесть большинства признаков. Эта схожесть признаков, наблюдаемая эндоскопистами еще без использования компьютерных систем поддержки принятия решений, явилась поводом для разработки классификаций ямочных рисунков. Задача группировки уникальных признаков, выделенных компьютером, в определенные классы решается путем кластеризации облака точек. Обычно используется метод k-средних. Выбор количества кластеров является исследовательской задачей и, обычно, оптимальный набор кластеров определяется экспериментально. После кластеризации многомерного пространства, в которое помещены оцифрованные признаки эндоскопических изображений, каждый признак может быть причислен к определенному классу. В результате, по каждому эндоскопическому изображению может быть построена гистограмма, где по оси абсцисс — номер класса, по оси ординат — количество найденных признаков, соответствующих определенному классу. В литературе приводятся исследования по взаимной интерпретации рассчитываемых классов признаков с принятыми классификациями ямочных рисунков.

Варианты гистологического строения нужны для обучения системы, чтобы сопоставлять их с гистограммами, поэтому они должны быть предварительно разделены на четкий набор классов. Затем изображения из обучающей выборки разделяются на группы, где каждая группа изображений соответствует конкретному классу гистологического строения. Для каждой группы изображений строятся суммарные гистограммы распределений признаков по классам. Суммарные гистограммы будут использоваться в качестве эталонов для определения классов гистологического строения в анализе тестовой выборки и дальнейшей эксплуатации.

Для проверки обученной системы на тестовой выборке на каждом тестовом изображении признаки выделяются тем же методом, который использовался при обучении. Для признаков рассчитываются многомерные векторы. Каждый такой вектор попадает в один из кластеров, границы которого были рассчитаны при обучении системы. Для каждого кластера подсчитывается количество попавших в него векторов, полученных при анализе тестового изображения. Таким образом, по каждому тестовому изображению строится гистограмма. Эта гистограмма сравнивается с эталонными гистограммами, в результате чего определяется, к какому классу относится тестовое изображение.

Для выявления признаков эндоскопических изображений (feature extraction) также применяются триангуляцию Делоне (рис. 9) [48]. Такой подход требует наличия предварительно выбранной области интереса на изображении. Изображение проходит предобработку для повышения четкости алгоритмом пороговой сегментации, выделяются пики интенсивности в разных цветовых каналах. Полученный набор точек, соответствующий пикам интенсивности, используется в качестве входных данных для построения триангуляции Делоне.

Исходя из распределения длин ребер треугольной сетки делается вывод о количестве ямок и типе ямочного рисунка.

Существуют и другие способы анализа ямочного рисунка, например с использованием семантического пространства для выявления наиболее информативных фрагментов эндоскопических изображений [49].

## Заключение

Приведенные работы последних лет демонстрируют возрастающую информационную нагрузку эндоскопического исследования, наши ограниченные возможности и объективные трудности в обработке важной диагностической информации. Всё

вышеперечисленное обосновывает необходимость и перспективность внедрения компьютерных технологий для повышения точности первичной и уточняющей дифференциальной диагностики предраковых изменений и раннего рака желудка и толстой кишки.

## Литература

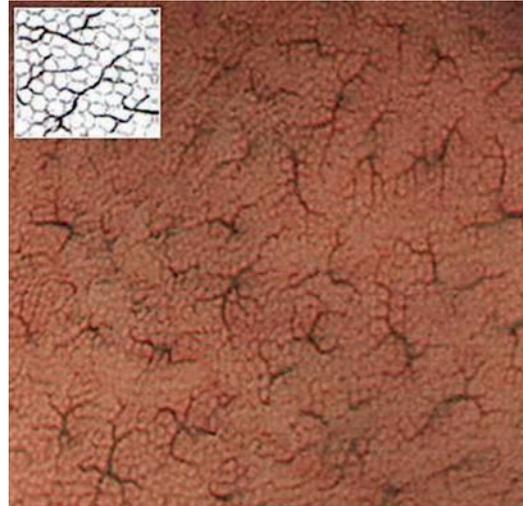
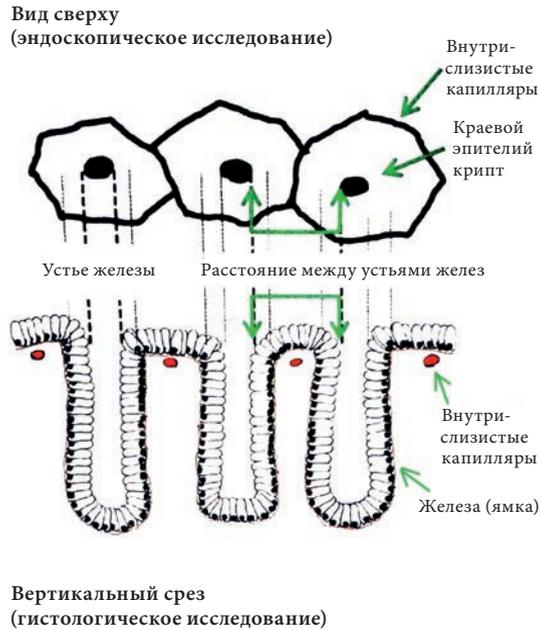
1. Козн Дж. (ред.), Будзинский А. А. (ред.). Атлас эндоскопии пищеварительного тракта: возможности высокого разрешения и изображения в узком световом спектре (перевод с английского). — Москва: Логосфера, 2012. — 360 с.
2. Kato M., Kaise M., Yonezawa J. et al. Trimodal imaging endoscopy may improve diagnostic accuracy of early gastric neoplasia: a feasibility study. *Gastrointest Endosc*, 2009, vol. 70, no. 5, pp. 899-906.
3. Kato M., Kaise M., Yonezawa J. et al. Magnifying endoscopy with narrow-band imaging achieves superior accuracy in the differential diagnosis of superficial gastric lesions identified with white-light endoscopy: a prospective study. *Gastrointestinal Endoscopy*, 2010, vol. 72, no. 3, pp. 523-529.
4. Ezoë Y., Muto M., Horimatsu T. et al. Magnifying narrow-band imaging versus magnifying white-light imaging for the differential diagnosis of gastric small depressive lesions: a prospective study. *Gastrointest Endosc*, 2010, vol. 71, no. 3, pp. 477-484.
5. Tischendorf J. J., Schirin-Sokhan R., Streetz K. et al. Value of magnifying endoscopy in classifying colorectal polyps based on vascular pattern. *Endoscopy*, 2010, vol. 42, no. 1, pp. 22-7.
6. Maki S., Yao K., Nagahama T. et al. Magnifying endoscopy with narrow-band imaging is useful in the differential diagnosis between low-grade adenoma and early cancer of superficial elevated gastric lesions. *Gastric Cancer*, 2013, vol. 16, no. 2, pp. 140-6.
7. Kikuste I., Marques-Pereira R., Monteiro-Soares M. et al. Systematic review of the diagnosis of gastric premalignant conditions and neoplasia with high-resolution endoscopic technologies. *Scand J Gastroenterol*, 2013, vol. 48, no. 10, pp. 1108-17.
8. Ezoë Y., Muto M., Uedo N. et al. Magnifying narrowband imaging is more accurate than conventional white-light imaging in diagnosis of gastric mucosal cancer. *Gastroenterology*, 2011, vol. 141, no. 6, pp. 2017-2025.
9. Kadowaki S., Tanaka K., Toyoda H. et al. Ease of early gastric cancer demarcation recognition: A comparison of four magnifying endoscopy methods. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 2009, vol. 24, pp. 1625-1630.
10. Rastogi A., Keighley J., Singh V. et al. High accuracy of narrow band imaging without magnification for the real-time characterization of polyp histology and its comparison with high-definition white light colonoscopy: a prospective study. *Am J Gastroenterol*, 2009, vol. 104, no. 10, pp. 2422-30.
11. Kudo S., Hirota S., Nakajima T. et al. Colorectal tumors and pit pattern. *J Clin Pathol*, 1994, vol. 47, pp. 880-885.
12. Kobayashi Y., Kudo S. E., Miyachi H. et al. Clinical usefulness of pit patterns for detecting colonic lesions requiring surgical treatment. *Int J Colorectal Dis*, 2011, vol. 26, no. 12, pp. 1531-40.
13. Fujii T., Hasegawa R. T., Saitoh Y. et al. Chromoscopy during colonoscopy. *Endoscopy*, 2001, vol. 33, no. 12, pp. 1036-1041.
14. Аганов М. Ю., Таран Н. А., Полушин О. Г., Стегний К. В. Результаты эндоскопического лечения раннего рака толстой кишки. *РЖГГК*, 2011, том 21, номер 4, с. 60-65.
15. Matsuda T., Fujii T., Saito Y. et al. Efficacy of the invasive/non-invasive pattern by magnifying chromoendoscopy to estimate the depth of invasion of early colorectal neoplasms. *American Journal of Gastroenterology*, 2008, vol. 103, no. 11, pp. 2700-2706.
16. Watanabe T., Itabashi M., Shimada Y. et al. Japanese Society for Cancer of the Colon and Rectum (JSCCR) guidelines 2010 for the treatment of colorectal cancer. *Int J Clin Oncol*, 2012, vol. 17, no. 1, pp. 1-29.
17. Ikematsu H., Matsuda T., Emura F. et al. Efficacy of capillary pattern type IIIA/IIIB by magnifying narrow band imaging for estimating depth of invasion of early colorectal neoplasms. *BMC Gastroenterol*, 2010, vol. 10, pp. 33.
18. Katagiri A., Fu K.-I., Sano Y. et al. Narrow band imaging with magnifying colonoscopy as diagnostic tool for predicting histology of early colorectal neoplasia. *Aliment Pharmacol Ther*, 2008, vol. 27, pp. 1269-1274.
19. Wada Y., Kashida H., Kudo S. E. et al. Diagnostic accuracy of pit pattern and vascular pattern analyses in colorectal lesions. *Dig Endosc*, 2010, vol. 22, no. 3, pp. 192-9.
20. Tanaka S., Sano Y. Aim to unify the narrow band imaging (NBI) magnifying classification for colorectal tumors: current status in Japan from a summary of the consensus symposium in the 79th annual meeting of the Japan gastroenterological endoscopy society. *Digestive Endoscopy*, 2011, vol. 23 (suppl. 1), pp. 131-139.
21. Iwatate M., Ikumoto T., Hattori S. et al. NBI and NBI combined with magnifying colonoscopy. *Diagn Ther Endosc*, 2012, vol. 2012, pp. 173269.
22. Chang C. C., Hsieh C. R., Lou H. Y. et al. Comparative study of conventional colonoscopy, magnifying chromoendoscopy, and magnifying narrow-band imaging systems in the differential diagnosis of small colonic polyps between trainee and experienced endoscopist. *Int J Colorectal Dis*, 2009, vol. 24, no. 12, pp. 1413-9.

23. Li H.-Y., Ge Z.-Z., Fujishiro M., Li X.-B. Current clinical applications of magnifying endoscopy with Narrow Band Imaging in the stomach. Review Article. Diagnostic and Therapeutic Endoscopy, 2012, vol. 2012, 271914.
24. Yao K., Oishi T., Matsui T. et al. Novel magnified endoscopic findings of microvascular architecture in intramucosal gastric cancer. Gastrointest Endosc, 2002, vol. 56, pp. 279-284.
25. Yao K., Iwashita A., Tanabe H. et al. Novel zoom endoscopy technique for diagnosis of small flat gastric cancer: a prospective, blind study. Clin Gastroenterol Hepatol, 2007, vol. 5, no. 7, pp. 869-78.
26. Yao K., Anagnostopoulos G. K., Ragunath K. Magnifying endoscopy for diagnosing and delineating early gastric cancer. Endoscopy, 2009, vol. 41, no. 5, pp. 462-7.
27. Li H. Y., Dai J., Xue H. B. et al. Application of magnifying endoscopy with narrow-band imaging in diagnosing gastric lesions: a prospective study. Gastrointest Endosc, 2012, vol. 76, no. 6, pp. 1124-32.
28. Tsuji Y., Ohata K., Sekiguchi M. et al. Magnifying endoscopy with narrow-band imaging helps determine the management of gastric adenomas. Gastric Cancer, 2012, vol. 15, pp. 414-418.
29. Куваев П. О., Кашин С. В., Капранов В. А. и соавт. Новые компьютерные технологии эндоскопической диагностики в гастроэнтерологии и онкологии. Доказательная гастроэнтерология, 2013. том 1, с. 3-12.
30. Tanaka K., Toyoda H., Kadowaki S. et al. Surface pattern classification by enhanced-magnification endoscopy for identifying early gastric cancers. Gastrointest Endosc, 2008, vol. 67, no. 3, pp. 430-7.
31. Omori T., Kamiya Y., Tahara T. et al. Correlation between magnifying narrow band imaging and histopathology in gastric protruding/or polypoid lesions: a pilot feasibility trial. BMC Gastroenterology, 2012, vol. 12, pp.17.
32. Nonaka K., Arai S., Ban S. et al. Prospective study of the evaluation of the usefulness of tumor typing by narrow band imaging for the differential diagnosis of gastric adenoma and well-differentiated adenocarcinoma. Dig Endosc, 2011, vol. 23, pp. 146-152.
33. Nonaka K., Namoto M., Kitada H. et al. Usefulness of the DL in ME with NBI for determining the expanded area of early-stage differentiated gastric carcinoma. World J Gastrointest Endosc, 2012, vol. 4, no. 8, pp. 362-367.
34. Yao K., Iwashita A., Tanabe H., et al. White opaque substance within superficial elevated gastric neoplasia as visualized by magnification endoscopy with narrow-band imaging: a new optical sign for differentiating between adenoma and carcinoma. Gastrointest Endosc, 2008, vol. 68, pp. 574-80.
35. Kikuchi O., Ezoe Y., Morita S. et al. Narrow-band Imaging for the Head and Neck Region and the Upper Gastrointestinal Tract. Jpn J Clin Oncol, 2013, vol. 43, no. 5, pp. 458-465.
36. Nakayoshi T., Tajiri H., Matsuda K. et al. Magnifying endoscopy combined with narrow band imaging system for early gastric cancer: correlation of vascular pattern with histopathology. Endoscopy, 2004, vol. 36, no.12, pp. 1080-1084.
37. Yokoyama A., Inoue H., Minami H. et al. Novel narrow-band imaging magnifying endoscopic classification for early gastric cancer. Digestive and Liver Disease, 2010, vol. 42, no. 10, pp. 704-708.
38. Yoshida T., Kawachi H., Sasajima K. et al. The clinical meaning of a nonstructural pattern in early gastric cancer on magnifying endoscopy. Gastrointestinal Endoscopy, 2005, vol. 62, no. 1, pp. 48-54.
39. Okada K., Fujisaki J., Kasuga A. et al. Diagnosis of undifferentiated type early gastric cancers by magnification endoscopy with narrow-band imaging. Journal of Gastroenterology and Hepatology, 2011, vol. 26, pp. 1262-1269.
40. Kobara H., Mori H., Fujihara S. et al. Prediction of invasion depth for submucosal differentiated gastric cancer by magnifying endoscopy with narrow-band imaging. Oncol Rep, 2012, vol. 28, no. 3, pp. 841-7.
41. Sano T., Kodera Y. (ed.). Japanese gastric cancer treatment guidelines 2010 (ver. 3) Japanese Gastric Cancer Association. English edition. Gastric Cancer, 2011, vol. 14, pp. 113-123.
42. Häfner M., Liedlgruber M., Uhl A. et al. Color treatment in endoscopic image classification using multi-scale local color vector patterns. Med Image Anal, 2012, vol. 16, no. 1, pp. 75-86.
43. Dohi O., Yagi N., Wada T. et al. Recognition of endoscopic diagnosis in differentiated-type early gastric cancer by flexible spectral imaging color enhancement with indigo carmine. Digestion, 2012, vol. 86, no. 2, pp. 161-70.
44. Miyaki R., Yoshida S., Tanaka S. et al. Quantitative identification of mucosal gastric cancer under magnifying endoscopy with flexible spectral imaging color enhancement. J Gastroenterol Hepatol, 2013, vol. 28, no. 5, pp. 841-7.
45. Lee T. C., Lin Y. H., Uedo N., Wang H. P. Computer-aided diagnosis in endoscopy: A novel application toward automatic detection of abnormal lesions on magnifying narrow-band imaging endoscopy in the stomach. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2013, vol. 2013, pp. 4430-3.
46. Liedlgruber M., Uhl A. Computer-aided decision support systems for endoscopy in the gastrointestinal tract: a review. IEEE Rev Biomed Eng, 2011, vol. 4, pp. 73-88.
47. Tamaki T., Yoshimuta J., Kawakami M. et al. Computer-aided colorectal tumor classification in NBI endoscopy using local features. Medical Image Analysis, 2013, vol. 17, no. 1, pp. 78-100.
48. Häfner M., Liedlgruber M., Uhl A. et al. Delaunay triangulation-based pit density estimation for the classification of polyps in high-magnification chromo-colonoscopy. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2012, vol. 107, no. 3, pp. 565-581.
49. Kwitt R., Vasconcelos N., Rasiwasia N. et al. Endoscopic image analysis in semantic space. Medical Image Analysis, 2012, vol. 16, no. 7, pp. 1415-1422.
50. Zhao Q., Mullin G. E., Meng M. Q.-H. et al. A general framework for wireless capsule endoscopy study synopsis. Computerized Medical Imaging and Graphics, available online 10 June 2014, ISSN 0895-6111, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compmedimag.2014.05.011>.
51. Szczypliński P., Klepaczko A., Pazurek M., Daniel P. Texture and color based image segmentation and pathology detection in capsule endoscopy videos. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2014, vol. 113, no. 1, pp. 396-411.
52. Li B., Meng M. Q.-H., Lau J. Y. W. Computer-aided small bowel tumor detection for capsule endoscopy. Artificial Intelligence in Medicine, 2011, vol. 52, no. 1, pp. 11-16.

Работа проводилась в рамках проекта, выполняемого ООО «СИАМС», при поддержке Министерства образования и науки РФ (Соглашение о предоставлении субсидии от 27.06.2014 № 14.576.21.0018).

## К статье

Современная эндоскопическая диагностика предраковых изменений и раннего рака желудка и толстой кишки с применением компьютерных систем поддержки принятия решений (стр. 88–96).

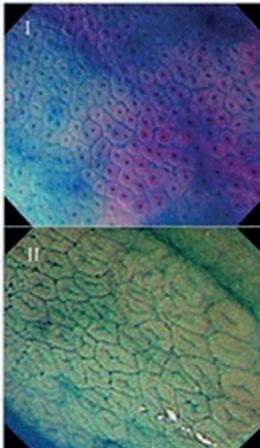
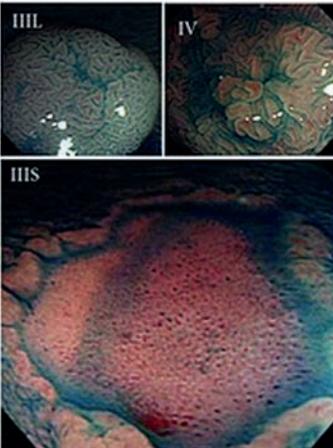
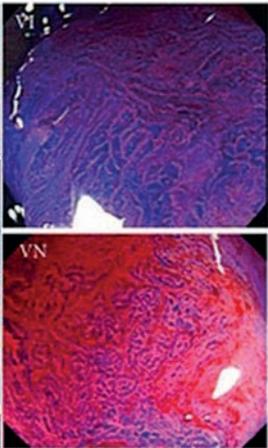


**Рисунок 1.**  
Схема строения слизистой оболочки желудка и толстой кишки (адаптировано из книги К. Yao “Zoom gastroscopy. Magnifying endoscopy in the stomach” Springer. 2014.)

Эндоскопическое изображение слизистой оболочки проксимальных отделов желудка:  
округлый ямочный рисунок

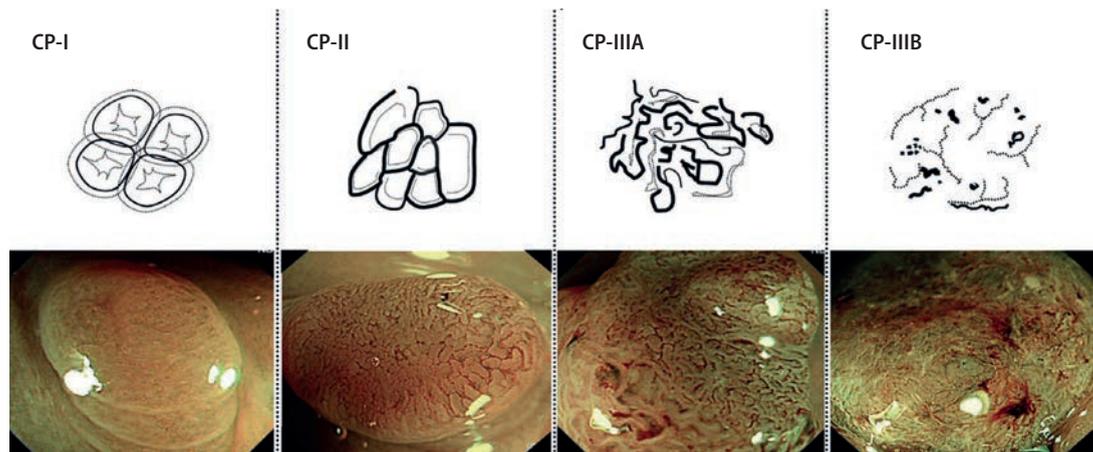
**Рисунок 2.**

Классификация ямочного рисунка поверхностных эпителиальных образований толстой кишки S. Kudo, клиническая классификация — в соответствии с гистологическим строением и лечебной тактикой. [11,12,13,16,21.]

Классификация S. Kudo	Клиническая классификация		
	Ненеопластический рисунок	Неинвазивный рисунок	Инвазивный рисунок
Эндоскопическая картина (хромоскопия + zoom)	I–II тип 	III–IIIС–IV–часть Vi типа 	Vi–VN тип 
Гистология	Норма Гиперпластический полип	Аденома Аденокарцинома m, sm1	Аденокарцинома sm2
Лечение	Не требуется	Эндоскопическое лечение	Хирургическое лечение

**Рисунок 3.**

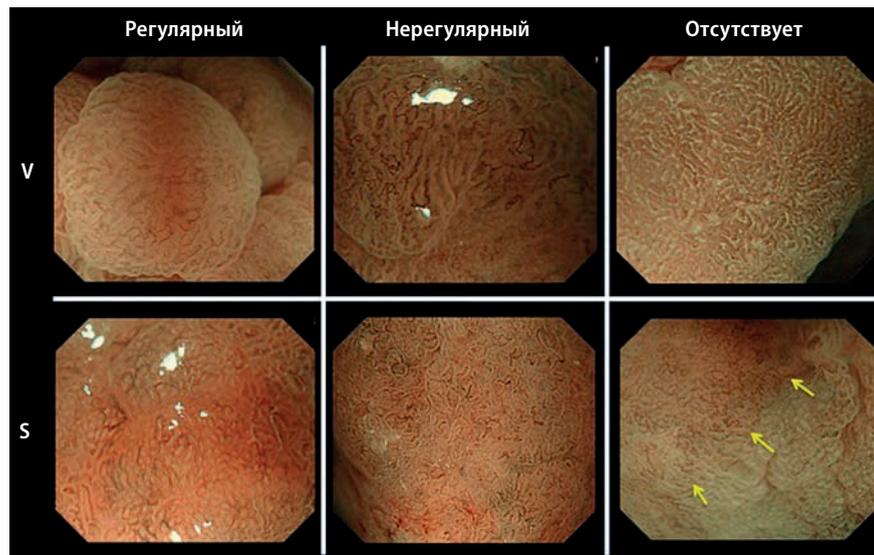
Классификация капиллярного рисунка Y. Sano. [17,20]



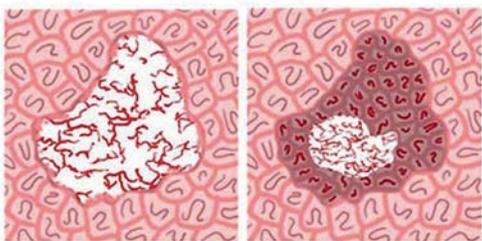
**Рисунок 5.**

VS-классификация К. Яо при исследовании в режиме NBI+zoom.

Представлены характерные изображения трех типов сосудистой (V) и поверхностной (S) микроструктуры слизистой оболочки: регулярная, нерегулярная и отсутствует. Стрелки указывают на демаркационную линию на границе образования и нормальной слизистой оболочки. [6,26]



1) Отсутствие тонкой структуры слизистой оболочки



2) Неравномерное расширение капилляров



3) Гетерогенность формы капилляров



Рисунок 6. Триада диагностических критериев Kaise K., Kato K. для диагностики поверхностных эпителиальных неоплазий желудка при эндоскопии в режиме NBI+zoom. [3]

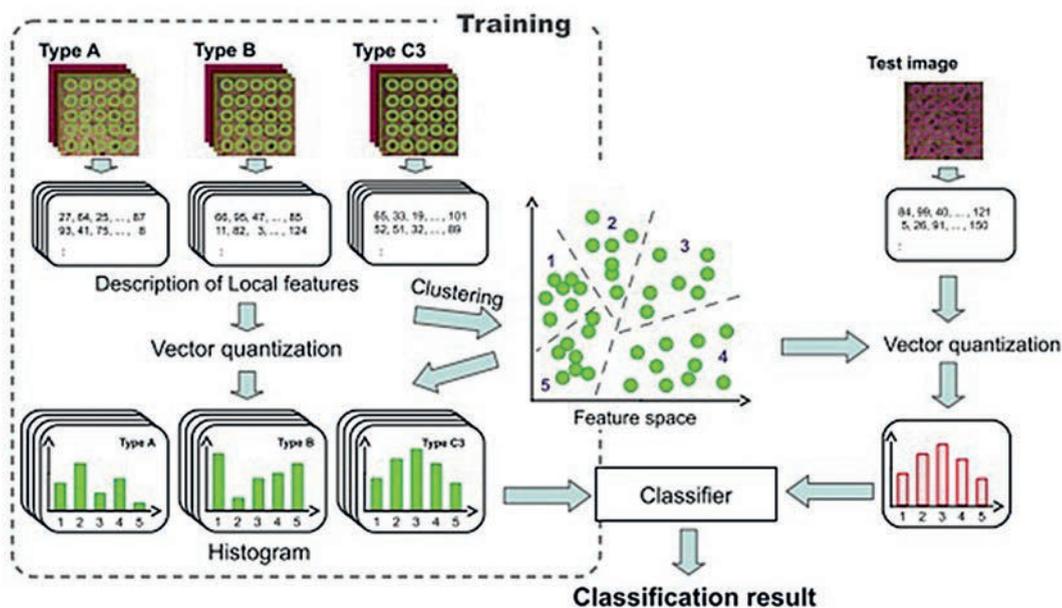


Рисунок 7. Схема подхода к статистическому анализу изображений «bag of features». [47]

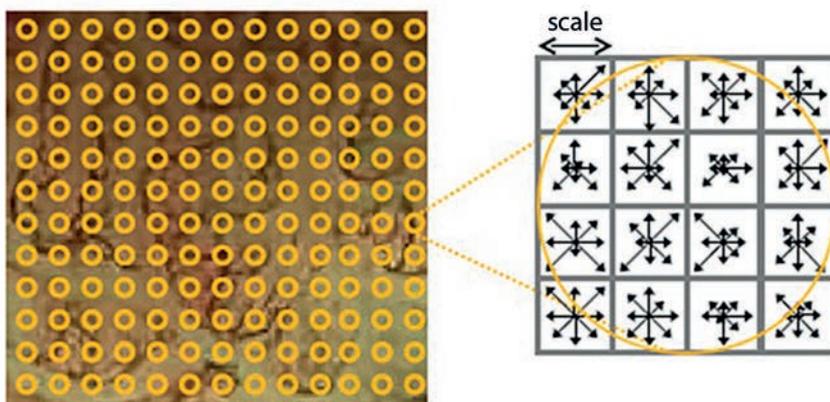
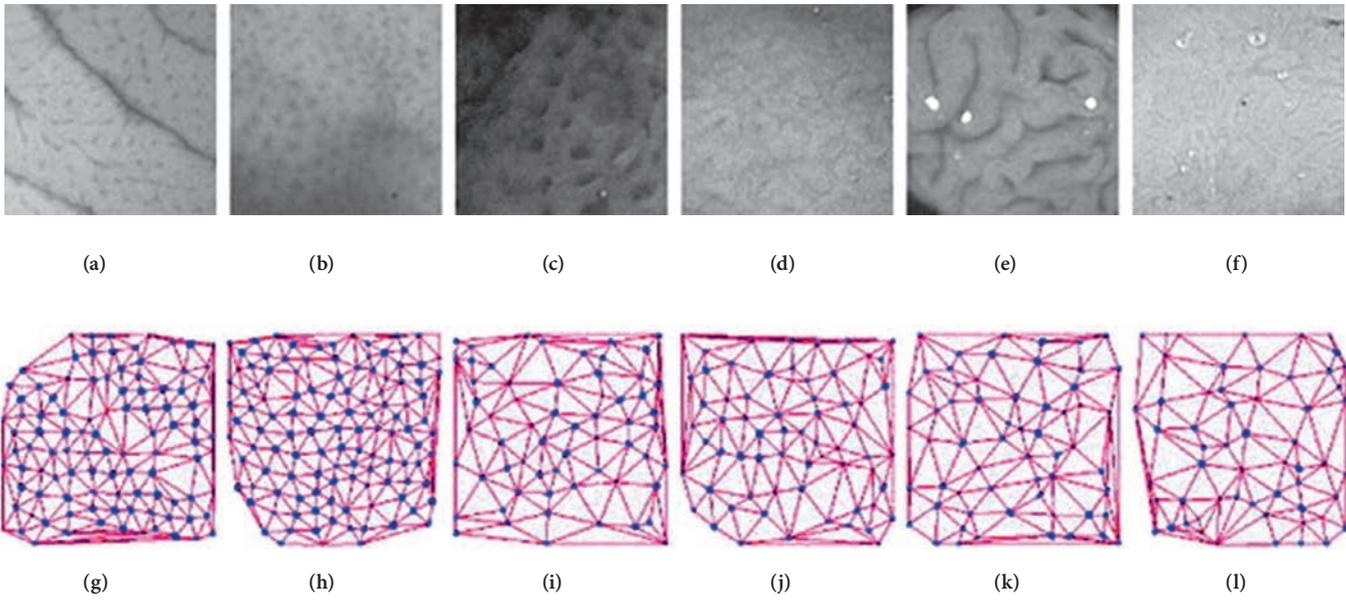


Рисунок 8. Выделение регулярной сеткой и векторизация областей изображения. [47]



**Рисунок 9.**

Результаты триангуляции Делоне выделенных ямок: примеры изображений в красном цветовом канале (a) и (b) ненеоплазия, (c) — (f) неоплазия, и (g) — (l) соответствующие результаты триангуляции. [48]