

* Иллюстрации к статье — на цветной вклейке в журнал.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА СЕГМЕНТАЦИИ УЗКОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНДОСКОПИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ПАТОЛОГИИ ПИЩЕВОДА*

Пеганова Е. В.^{1,2}, Батухтин Д. М.², Митракова Н. Н.^{1,2}

OPTIMIZATION ENDOSCOPY OF ESOPHAGUS PATHOLOGY ON THE BASIS OF COMPUTERIZED SYSTEM OF NARROW BAND IMAGE SEGMENTATION

Peganova E. V.^{1,2}, Batuhtin D. M.², Mitrakova N. N.^{1,2}

¹ ГБУ РМЭ «Республиканская клиническая больница» 424000, г. Йошкар-Ола, ул.Осипенко, д. 33

² ФГБОУ ВПО РМЭ «Поволжский государственный технологический университет», 424000, г. Йошкар-Ола, пл.Ленина, д. 3

¹ Mari State Republic Clinical Hospital, Osipenko str., 33, Ioshkar-Ola, Russian Federation, 424000

² Volga State University of Technology, Lenin sq, 3, Ioshkar-Ola, Russian Federation, 424000

**Пеганова
Евгения Викторовна**
Peganova E. V.
E-mail:
evpeganova@mail.ru

Пеганова Евгения Викторовна — аспирант кафедры радиотехнических и медикобиологических систем ГБОУ ВПО ПГТУ, врач-эндоскопист эндоскопического отделения ГБУ РМЭ РКБ.

Батухтин Дмитрий Михайлович — аспирант кафедры радиотехнических и медикобиологических систем ФГБОУ ВПО ПГТУ.

Митракова Нина Николаевна — доктор медицинских наук, профессор кафедры радиотехнических и медикобиологических систем ГБОУ ВПО ПГТУ, зав.эндоскопическим отделением ГБУ РМЭ РКБ.

Peganova E. V. — physician the Endoscopy Department, PhD student Department of Radiotechnology and Biomedicine Volga State University of Technology.

Batuhtin D. M. — PhD student Department of Radiotechnology and Biomedicine Volga State University of Technology.

Mitrakova N. N. — D. Med.Sc., Professor Department of Radiotechnology and Biomedicine Volga State University of Technology, Head of the Endoscopy Department.

Резюме

В статье представлены возможность применения и результаты практического использования цветовой сегментации узкоспектральных изображений пищевода. Разработан алгоритм выполнения узкоспектрального эндоскопического исследования верхних отделов желудочно-кишечного тракта с применением автоматизированного выделения патологии. У 238 пациентов в ходе эзофагогастроуденоскопии применена методика автоматизированного выделения патологических очагов. Показано достоверное повышение диагностической эффективности узкоспектральной эндоскопии в диагностике патологии пищевода. Проведен статистический анализ узкоспектральных эндоскопических изображений пищевода. Использование математического моделирования показало возможность выделения нормальных и патологических участков для получения объективных оценок состояния слизистой оболочки пищевода.

Ключевые слова: узкоспектральная эндоскопия, патология пищевода, цветовая сегментация изображения, автоматизированная система анализа эндоскопических изображений.

Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология 2014; 103 (3):32-37

Summary

In the article possibility of application and results of practical usage colored segmentation narrow band images of esophagus are presented. Algorithm of narrowband endoscopy of upper gastrointestinal tract using automatized pathology discrimination has been developed. Method of automatized discrimination of pathological focus has been carried out during esophagogastroduodenoscopy on 238 patients. Positive increase of diagnostics effectiveness of narrow band endoscopy has been registered in esophagus pathology diagnostics. Statistic analysis of narrow band images esophagus has been carried out. The usage of mathematic modeling has shown the possibility of discrimination of normal and pathological areas for obtaining objective estimation of mucous esophagus condition.

Keywords: narrow band imaging, endoscopy, pathology of esophagus, color segmentation of images, computer-aided system diagnosis of endoscopy imaging.

Ekspierimental'naya i Klinicheskaya Gastroenterologiya 2014; 103 (3):32-37

Введение

В структуре заболеваний желудочно-кишечного тракта патология пищевода имеет достаточно высокий удельный вес [1,2]. Прогрессируя, заболевания пищевода претерпевают морфологические фоновые изменения слизистой оболочки (дистрофия, атрофия, склероз, гиперплазия и метаплазия), которые неизбежно приводят к развитию неоплазии [3]. В силу некоторых причин (отсутствие жалоб, анатомическое строение органа, неисправность эндоскопической аппаратуры и др.) диагностика ранних изменений пищевода остаётся на недостаточно эффективном уровне. Так, согласно данным отечественных авторов у 75 % больных раком пищевода диагностируется только на II–III стадии заболевания и лишь у 5 % пациентов на ранней стадии, что отрицательно отражается на показателях пятилетней выживаемости в этой группе пациентов [1,2,4,5].

Заболевания пищевода, протекающие с визуальными изменениями слизистой оболочки, требуют детального изучения структуры и сосудистого рисунка поражённого участка. Но, классическая эзофагоскопия в белом свете не всегда позволяет оценить наличие и объективизировать характер обнаруженных изменений [6]. Внедрение в широкую практику видеоэндоскопии с уточняющими методами диагностики создаёт возможность увеличения диапазона получаемой информации о морфологических изменениях слизистой оболочки пищевода. Одним из таких методов является

узкоспектральная эндоскопия высокого разрешения, базирующаяся на NBI (narrow band imaging) технологии.

NBI-технология основана на выделении из диапазона излучаемого света компонента с длиной волны 415 нм и 540 нм, соответствующих длинам волн синего и зелёного цветов. Глубина проникновения синего света ограничена структурами слизистой оболочки, в то время как зелёный свет проникает до подслизистого слоя. В результате осмотра в узком спектре повышается контрастность изображения, благодаря чему становится возможным оценить структуру эпителия пищевода. Используемые световые волны хорошо поглощаются гемоглобином, вследствие чего отмечается усиление визуализации внутрислизистого сосудистого рисунка в процессе узкоспектральной эндоскопии [7,8].

Исследование в узком спектре света обеспечивает обнаружение малозаметной при классической эндоскопии патологии пищевода, позволяет оценивать характер этих изменений. Однако, узкоспектральная эндоскопия, являясь инструментальным методом обследования, полностью зависит от индивидуального цветовосприятия исследователя, а величина смещения цвета на изображении определяется врачом на основании собственного опыта. Кроме того, какие либо формализованные описания патологических состояний пищевода, выявляемых по изображениям, полученным в узком спектре, в настоящее время

отсутствуют, что приводит к субъективизации эндоскопических заключений.

Таким образом, для объективизации метода узкоспектрального исследования пищевода необходима количественная оценка цветовых характеристик получаемых эндоскопических изображений. В нашем исследовании технология NBI явилась предпосылкой для создания автоматизированной системы сегментации эндоскопических изображений. Дальнейшие исследования были направлены на использование математического

инструментария для получения объективных оценок состояния слизистой оболочки пищевода. Создание такого рода систем позволит эффективнее проводить эндоскопическое исследование и снизить риск диагностических ошибок.

Цель — разработать методику автоматизированной обработки узкоспектральных эндоскопических изображений пищевода и провести дифференциальную диагностику нормальной и патологически изменённой слизистой оболочки пищевода на основе методов математической статистики.

Материал и методы исследования

Исследование проводилось на базе Государственного бюджетного учреждения Республики Марий Эл «Республиканская клиническая больница» (ГБУ РМЭ РКБ) и Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Поволжский государственный технологический университет» (ГБОУ ВПО ПГТУ).

Проводимые исследования базировались на эндоскопических изображениях пищевода, полученных в результате проведения плановой эзофагогастродуоденоскопии (ЭГДС) среди пациентов Республиканской клинической больницы (г. Йошкар-Ола). Изображения были получены на видеоэндоскопической системе EVIS EXERA II («Olympus»), оснащённой NBI технологией. Визуальная оценка строения слизистой оболочки пищевода производилась с использованием совместимого видеогастроскопа GIF H 180 с функцией цифрового пошагового (50-кратного) увеличения. Для улучшения визуализации слизистой оболочки пищевода всем пациентам за 30–40 минут до исследования, учитывая аллергологический анамнез, в качестве пеногасителя перорально предлагался препарат «Эспумизан» — две мерные ложки (10 мл). Исследование проводилось под местной анестезией с использованием 10% раствора лидокаина в форме спрея. Достоверность результатов узкоспектральной эндоскопии подтверждалась прицельным забором биопсийного материала с последующим его морфологическим исследованием.

В результате анализа полученных статических узкоспектральных изображений пищевода, был сделан вывод о возможности их цветовой сегментации. Неизменённая слизистая оболочка пищевода при наблюдении в NBI-режиме имела серый цвет, а патологически изменённая смещалась в область оттенков коричневого цвета. Для количественной оценки степени поражения оценивалась близость цвета ткани к серому или коричневому путем вычисления нормированного расстояния в цветовом пространстве RGB между цветом текущего пикселя изображения и эталонными цветами, соответствующими различным патологиям. Поскольку разница между различными оттенками коричневого цвета незначительна, для выделения патологически изменённых участков пищевода использовалось преобразование изображения из RGB пространства в цветовое пространство HSL (рис.1).

Анализ результатов цветовой сегментации позволил сделать вывод о возможности цветовой дифференциации нормальной и патологически

изменённой слизистой оболочки пищевода. По результатам статистического анализа статических NBI-изображений были подготовлены эталонные цветовые палитры, содержащие информацию о цветовых характеристиках здоровых тканей и тканей с различными патологиями пищевода, удобные для восприятия. В ходе цветовой дифференциации эпителия пищевода неизменённая слизистая оболочка была представлена зелёным цветом, при наличии патологии — красным цветом.

Для практической реализации цветовой сегментации изображений был создан оригинальный программный продукт, получивший название «Endoview». Программа «Endoview» автоматизированного выделения патологии, написанная на языке C#, предназначена как для обработки заранее подготовленных изображений и видеофайлов, так и для анализа поступающей от эндоскопа видеoinформации в реальном масштабе времени. Программа обеспечивает возможность проверки принадлежности каждого пикселя NBI-изображения к одному из характерных цветов, определяющих состояние слизистой оболочки пищевода, и формирование изображения, отображающего результаты цветовой сегментации в виде карты распределения этих цветов (рис.2).

Для применения в ходе исследования компьютерной технологии обработки цифровых изображений процессор эндоскопа был подключен к персональному компьютеру через интерфейс IEEE 1394. Учитывая возможность применения автоматизированного выделения патологии в реальном масштабе времени, разработанная в исследовании программа была применена в процессе узкоспектральной эндоскопии верхних отделов желудочно-кишечного тракта.

Применение автоматизированного выделения в процессе эндоскопического исследования пищевода в узком спектре света позволило локализовать области протекания патологических процессов, выявить малозаметные изменения слизистой оболочки (рис.3).

Узкоспектральная эзофагогастродуоденоскопия с применением автоматизированного выделения выполнялась по разработанному нами алгоритму (рис.4).

На первом этапе в белом свете оценивалось наличие участков изменённого эпителия, последовательно включая режимы цифрового увеличения. Задачами второго и третьего этапов

Патология пищевода	Число пациентов (n=238)
Папиллома пищевода	29
Полип пищевода	43
Язва пищевода	30
Стриктура пищевода	31
Пищевод Барретта	29
Гетеротопия желудочная	15
Неинвазивная карцинома пищевода	8
Инвазивная карцинома пищевода	53

Таблица 1.
Распределение патологии
пищевода пациентов исследуемой группы.

исследования в узком спектре света с применением программы “Endoview” являлись обнаружение мелких очаговых изменений слизистой оболочки, оценка размера и характера обнаруженных изменений: наличие или отсутствие в структуре изменённого эпителия признаков неоплазии, при наличии — идентификация эндоскопических признаков степени неоплазии (структурный тип слизистой оболочки и капиллярный рисунок).

Соответствие капиллярного рисунка слизистой оболочки пищевода тому или иному типу неоплазии оценивалось согласно классификации интраэпителиальных папиллярных капиллярных петель (Kudo, 2006) [9]. Третий этап исследования завершался прицельным взятием биопсийного материала из патологического очага слизистой оболочки пищевода для морфологического исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Ретроспективно по наличию патологии в пищеводе в исследование было отобрано 238 пациентов, из них 158 (66,4%) мужчин и 80 (33,6%) женщин. Средний возраст обследуемых составил 54 года с колебаниями от 18 до 89 лет (μ - 14).

Однонаправленные и равномерно разветвлённые капилляры, соответствующие нормальному кровоснабжению, а также ровная регулярная поверхность слизистой оболочки в структуре патологического очага свидетельствовали об отсутствии неоплазии эпителия (рис. 5).

Основанием для установления эндоскопического заключения о неоплазии эпителия являлось наличие нарушенной архитектоники поверхности слизистой оболочки и спиралевидных сосудов с изменённым калибром. По степени разнонаправленности и неравномерности ветвления капилляров, а также по степени выраженности нарушения структуры эпителиального рисунка проводилась дифференциальная диагностика между неоплазией эпителия низкой и высокой степеней. В случаях, когда на поверхности слизистой оболочки визуализировалась нерегулярная структура и разнонаправленный капиллярный рисунок, устанавливался диагноз неоплазии эпителия низкой степени (рис. 6).

Если какой-либо рисунок в структуре слизистой оболочки отсутствовал (бесструктурный тип), либо визуализировались единичные патологические (утолщенные, разветвлённые) кровеносные сосуды, то такой эпителий признавался нами как неоплазия высокой степени (рис.7).

Таким образом, своевременное обнаружение очагов неоплазии низкой степени позволило спрогнозировать риск развития карциномы пищевода, неоплазии высокой степени/карциномы — определить сроки и показания для оперативного лечения.

Диагностическая эффективность узкоспектральной эндоскопии с применением автоматизированного выделения патологии оценивалась такими показателями, как диагностическая точность, чувствительность и специфичность метода.

В нашем исследовании диагностическая точность применённых методов в выявлении патологии пищевода составила 92%, а показатели чувствительности и специфичности 96% и 89% соответственно. Для повышения диагностической эффективности разработанного метода необходимо повысить его специфичность, уменьшив количество ложноположительных результатов.

Для получения более объективных оценок состояния слизистой оболочки пищевода в исследовании были применены методы математической статистики.

Анализируемые узкоспектральные изображения имеют цифровой формат *.jpeg и представлены в пространстве RGB, т.е. цвет пиксела изображения определяется смешением красного, зеленого и синего цветов, взятых с весовыми коэффициентами, соответствующими их яркости. Яркость отдельных цветовых компонент пиксела находится в диапазоне от 0 до 255 включительно.

Пример эндоскопического изображения, полученного при помощи технологии NBI, представлен на рис.8.

На данном изображении присутствует как нормальная ткань (серые области), так и ткань с патологией (области, имеющие цвет, приближенный к коричневому).

Каждый пиксел изображения может быть представлен в виде точки в трехмерном пространстве с координатами, равными значению отдельных цветовых компонент данного пиксела. Соответственно весь набор пикселей изображения формирует точечное поле конкретного изображения. На рис. 9 показано точечное поле, полученное для изображения, представленного на рис.8.

На исходном изображении можно выделить области, соответствующие нормальной ткани и ткани с патологией (рис.10а). На рис. 10б представлены точки, построенные в трехмерном пространстве RGB, соответствующие этим областям. Красные точки соответствуют участку нормальной ткани, чёрные — участку ткани с патологией.

Как видно из рис. 10б, множества данных точек заметно разделены относительно друг от друга, что создаёт предпосылки для автоматической классификации патологически изменённой слизистой оболочки пищевода.

В процессе исследования было сформировано два класса тканей A_1 и A_2 . Класс A_1 соответствует нормальным участкам пищевода, а класс A_2 — патологически изменённой слизистой оболочке. Каждый участок пищевода задается точечным полем пикселей эндоскопического изображения, представленного в пространстве RGB. Так как цвет точки определяется соотношением трех компонент (RGB), то каждый класс задается трехмерным нормальным распределением совместной плотности вероятностей цветовых компонент пикселя.

Врач, анализирующий статические изображения, полученные в ходе NBI эндоскопии, выбирает в пределах визуально измененной области ряд участков.

На участках, отнесенных экспертом к здоровым тканям, формируются обучающие выборки класса A_1 , которые обозначим как Q_i . Тогда

$$Q_i = \{q_{ij}\}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, s_i,$$

где i — номер выборки, s_i — её объём, j — номер пикселя в этой выборке, цветовые компоненты которого задаются вектором $q_{ij} = \{q_{ijr}, q_{ijg}, q_{ijb}\}$.

Аналогично через V_i будем обозначать обучающие выборки, полученные на участках пищевода с предполагаемой патологией, т.е. выборки класса A_2 :

$$V_i = \{v_{ij}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, t_i,$$

где i — номер выборки, t_i — её объём, j — номер пикселя в этой выборке, а $v_{ij} = \{v_{ijr}, v_{ijg}, v_{ijb}\}$ — вектор, задающий его цветовые компоненты.

Величина n выбирается исходя из требования необходимой репрезентативности параметров неизменной слизистой оболочки пищевода. Из практических соображений количество точек, полученных с каждого участка должно находиться в пределах 300÷2000 при значениях величины n равном 2÷5. Величина m определяется количеством участков изменённой слизистой оболочки пищевода, между которыми предполагается провести дифференциальную диагностику в пределах выбранной области.

Далее формируются математические модели обучающих выборок. Обучающие выборки Q_i , $i = 1, 2, \dots, n$, были получены на различных участках выбранной области поверхности пищевода, признанных врачом-эндоскопистом здоровыми.

Алгоритм выполнения классификации обеспечивает обоснованное принятие решения о том, к какому из классов A_1 или A_2 следует отнести конкретный пиксель u эндоскопического изображения пищевода.

Широко используемым алгоритмом для отнесения конкретного пикселя u к определённому классу является алгоритм максимального правдоподобия [10]. В соответствии с ним решение в пользу класса A_1 принимается при условии:

$$\Lambda_i(u) = \frac{L_Q(u)}{L_V(u)} \geq \frac{p_1}{p_2} \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где $\Lambda_i(u)$ — величина отношения правдоподобия; $L_Q(u)$ — функция правдоподобия выборки; $L_V(u)$ — функция правдоподобия выборки V ; p_1 и p_2 — априорные вероятности принадлежности отсчёта u к первому или второму классу (рис.11). Часто значения этих вероятностей неизвестны, и тогда при использовании алгоритма максимального правдоподобия полагают значениями априорных вероятностей каждого из классов, одинаковыми между собой. В этом случае решающее правило принимает вид:

$$\Lambda_i(u) \geq 1, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

Таким образом, пиксель на изображении поверхности пищевода соответствует здоровой ткани, если значение его правдоподобия математической модели здоровой ткани больше или равно значению правдоподобия математической модели ткани с патологией.

Структура классификатора (рис.11) содержит два параллельных канала, на входы которых подается классифицируемый пиксель u . В верхнем канале вычисляется значение $L_Q(u)$ правдоподобия пикселя u математической модели класса A_1 , а в нижнем канале — величина $L_V(u)$ правдоподобия этого пикселя математической модели класса A_2 . Далее формируется отношение правдоподобия $\Lambda_{Q,V}(u)$, которое сравнивается с пороговым уровнем, равным единице. Если этот уровень не превышен, то принимается решение о соответствии пикселя u точке на патологически изменённой слизистой оболочке пищевода. В противном случае ткань в этой точке считается здоровой.

Для обучения, проверки работоспособности и оценки эффективности классификатора, на слизистой оболочке пищевода, изображение которой показано на рис.5, врачом-эндоскопистом визуально были выбраны три неизменённых участка и три участка с патологией. На изображении каждого из участков было выделено по 800 точек и получены обучающие выборки Q_1 , Q_2 и Q_3 для здоровой ткани и обучающие выборки V_1 , V_2 и V_3 для участков с большой тканью. Для каждой из этих обучающих выборок были получены математические модели.

Таким образом, применение математического инструментария позволило создать классификаторы, уверенно разделяющие нормальные и патологически изменённые области пищевода в процессе анализа, полученной при NBI-эндоскопии информации. Как следует из структуры классификатора, решение об отнесении конкретного участка слизистой оболочки пищевода к здоровой ткани принимается при условии, если величина отношения правдоподобия равна или больше единицы. Поэтому промежуточные значения отношения правдоподобия будут получаться в условиях, когда яркостная деформация ткани в области узкого спектра света при возникновении патологии находится на начальной стадии. Отсюда следует, что данный классификатор может найти применение на стадии ранней диагностики заболеваний пищевода.

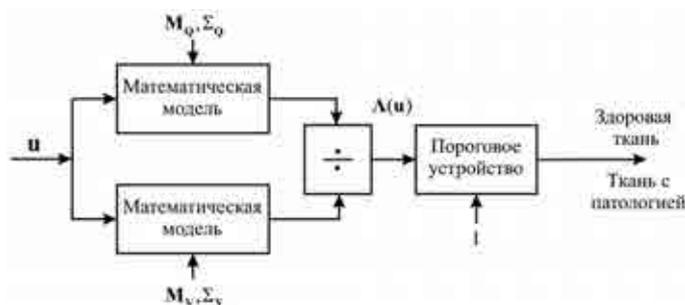


Рис. 11.
Структура классификатора
тканей пищевода

Выводы

Узкоспектральная эндоскопия является одним из ведущих современных методов уточняющей диагностики патологии пищевода. Но отсутствие чётких алгоритмов выполнения осмотра в узком спектре света и субъективное цветовосприятие исследователя снижают эффективность данного метода в диагностике патологии пищевода.

Новая внедрённая методика, основанная на автоматизированном выделении патологии, позволяет более чётко локализовать патологические процессы, протекающие на слизистой оболочке пищевода. Применение цветовой сегментации в процессе узкоспектральной эндоскопии верхних отделов желудочно-кишечного тракта достоверно повышает диагностическую информативность исследования. Разработанный алгоритм

выполнения ЭГДС позволил систематизировать ход исследования и вывести его на новый более качественный этап.

На основе алгоритмов узкоспектральной обработки эндоскопического изображения и многомерного статистического анализа получен метод объективной классификации состояния слизистой оболочки пищевода на здоровые участки и участки с патологией. Метод достаточно просто реализуется и обладает высокой, с практической точки зрения, эффективностью.

Полученные результаты, основанные на принципах доказательной медицины, могут служить предпосылкой создания инструмента для осуществления дифференциальной диагностики ранних неопластических изменений слизистой оболочки пищевода.

Литература

1. Чиссов В.И., Старинский В.В., Петрова Г.В. Состояние онкологической помощи населению России в 2011 г. М.: — МНИОИ им. П. А. Герцена Минздрава России, 2012; 240 с.
2. Аксель, Е. М. Состояние онкологической помощи населению России и стран СНГ в 2004 г. // Вестник РОНЦ им. Блохина. — 2006. — Т. 17 (3), прил. 1. — с.11–44.
3. Аруин Л. И. Новая международная классификация дисплазий слизистой оболочки желудка // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии и колопроктологии. — 2002. — Т. 3. — № XII. — с. 15–17.
4. Давыдов М.И., Стилиди И. С. Рак пищевода. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Издательская группа РОНЦ, Практическая медицина, 2007. — 392 с.
5. Иванов С. М. Химиолучевая терапия рака пищевода // Практическая онкология. — 2008. — № 9, прил 1. — с. 21–26.
6. Митракова, Н.Н., Пеганова, Е.В. и др. Повышение информативности узкоспектральной эндоскопии в диагностике патологии пищевода // Эндоскопия. — 2012. — № 4. — с.17–20.
7. Поддубный Б.К., Малихова О. А., Кашин С. В. Увеличительная и узкоспектральная эндоскопия: новые возможности диагностики патологических процессов пищевода и желудка. — М.: Olympus. — 2007. — с.10–14.
8. Gono, K. An introduction to high-resolution endoscopy and narrowband imaging; In Cohen J. Editor — Advanced digestive endoscopy: comprehensive atlas of high resolution endoscopy and narrowband imaging. — Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2007. — p. 9–22.
9. Inoe H., Kaga M., Sato Y., Sugaya S., Kudo S. Magnifying endoscopic diagnosis of tissue atypia and cancer invasion depth in the area of pharyngo-esophageal squamous epithelium by NBI enhanced magnification image: IPCL pattern classification. In Cohen J. editor. — Advanced digestive endoscopy: comprehensive atlas of high resolution endoscopy and narrowband imaging. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. — 2007. — p.52–56.
10. Васин В.А., Власов И. Б., Егоров Ю. М. и др. Информационные технологии в радиотехнических системах: Учеб. пособие. — 2-е изд. перераб. и доп. / В. А. Васин; Под ред. И. Б. Федорова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.

К статье

Автоматизированная система сегментации узкоспектральных изображений для оптимизации эндоскопической диагностики при патологии пищевода (стр. 32–37)

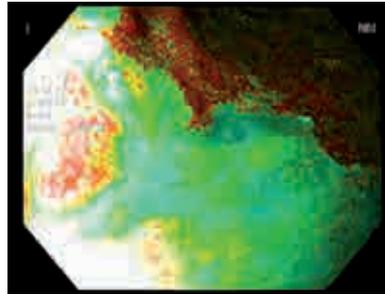
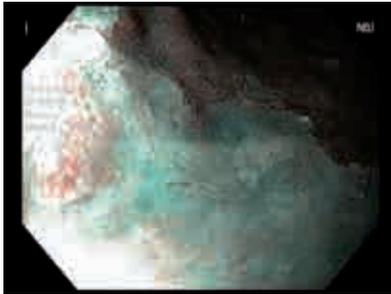


Рис. 1. Преобразование узкоспектрального изображения пищевода из RGB цветового пространства в цветное пространство HSL.

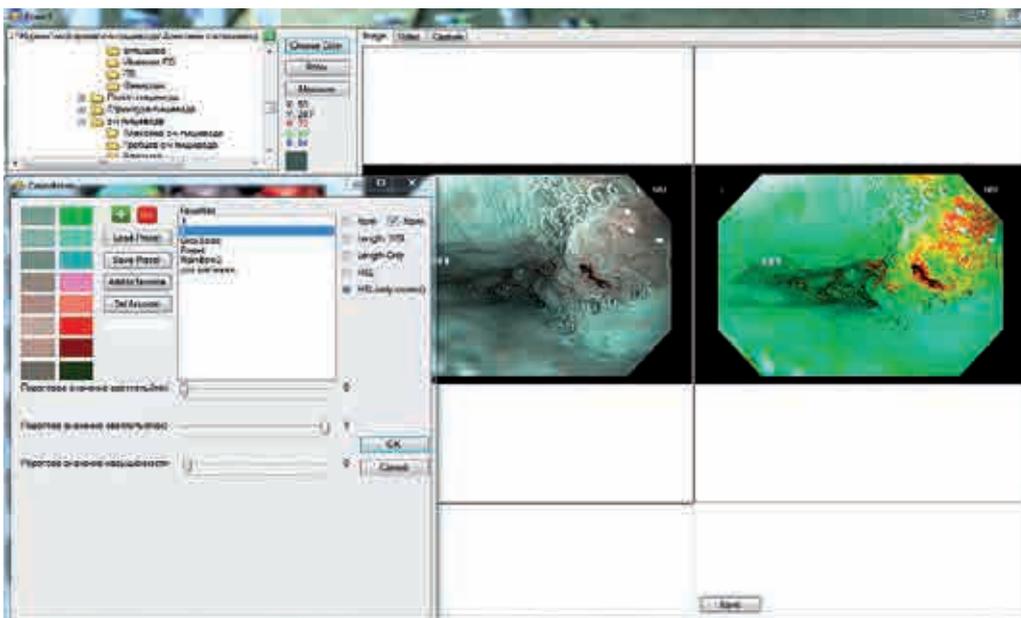
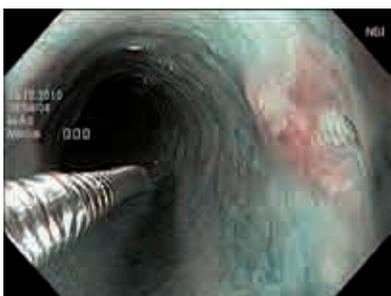
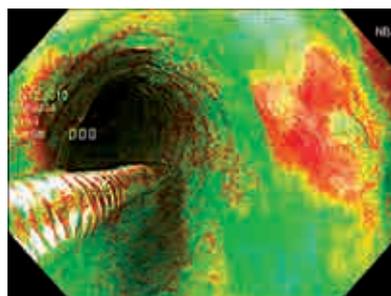


Рис. 2. Интерфейс программы "Endview".



А



Б

Рис. 3. Ранний рак грудного отдела пищевода, тип Па+Пс: а) узкий спектр изображения; б) результат применения автоматизированного выделения патологии.

Рис.4.
Алгоритм выполнения узкоспектральной увеличительной ЭГДС с применением автоматизированного выделения патологии.



Рис. 5.
Папиллома пищевода (NBI-режим).



Рис. 6.
Очаговая неоплазия пищевода низкой степени (NBI-режим).

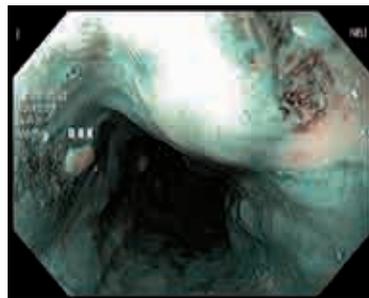


Рис. 7.
Неоплазия пищевода высокой степени/карцинома (NBI-режим).



Рис. 8.
Пример исходного изображения, получаемого при помощи технологии NBI.

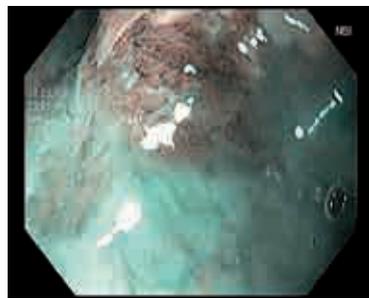


Рис. 9.
Точечное поле в пространстве RGB.

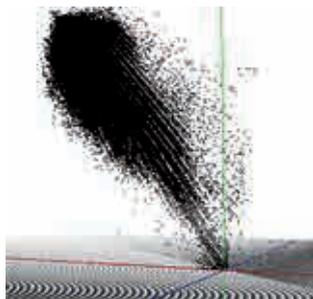
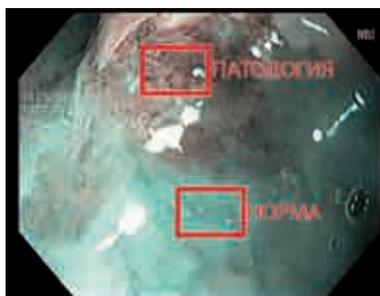


Рис. 10.
а) нормальные и патологические области на узкоспектральном изображении;
б) точечные поля на нормальных и патологических областях в RGB пространстве.



А



Б