

## Алгоритмизация диагностической тактики у пациентов с пищеводом Баррета по результатам увеличительной хромоэндоскопии

© И.Н. ХИМИНА<sup>1</sup>, К.А. РАЗИНКИН<sup>2</sup>, А.Н. ТРИФАНОВ<sup>3</sup>, Ю.В. МИНЧЕНКО<sup>4</sup>, Н.П. ХИМИН<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ГБУЗ Москвы «Консультативно-диагностический центр №6 Департамента здравоохранения Москвы», Москва, Россия;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» Минобрнауки России, Воронеж, Россия;

<sup>3</sup>АУЗ ВО «Воронежский областной клинический консультативно-диагностический центр», Воронеж, Россия;

<sup>4</sup>МБУЗ «Центральная районная больница» Неклиновского района Ростовской области, с. Покровское, Россия;

<sup>5</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, Москва, Россия

### РЕЗЮМЕ

Согласно Монреальскому консенсусу и классификации гастроэзофагеальной рефлюксной болезни (ГЭРБ), пищевод Баррета является одним из эзофагеальных проявлений ГЭРБ и характеризуется замещением многослойного плоского неороговевающего эпителия слизистой оболочки пищевода цилиндрическим с признаками кишечной метаплазии, являющейся маркером данного заболевания. Актуальность исследования обусловлена тем, что пищевод Баррета рассматривается как предраковое состояние и ассоциируется с повышенным риском развития аденокарциномы нижней трети пищевода. Статья посвящена формированию рационального диагностического алгоритма применения узкоспектральной видеоэндоскопии с оптическим увеличением у пациентов с пищеводом Баррета.

**Цель исследования.** Определить диагностическую эффективность узкоспектральной эндоскопии с оптическим увеличением у пациентов с пищеводом Баррета.

**Материал и методы.** Обследовано 69 человек с пищеводом Баррета. Пациентов основной группы ( $n=48$ ) обследовали с помощью хромоэндоскопии с оптическим увеличением, пациентов контрольной группы ( $n=21$ ) — с помощью эндоскопии в белом свете. Для гистологического исследования биоматериал забирали непосредственно из сегментов метаплазированного эпителия. Для анализа полученных данных использован специально разработанный алгоритм диагностики на основе статистических методов (критерия Манна—Уитни и критерия ранговой корреляции Спирмена). Для объективизации и автоматизации диагностики патологий у пациентов применена нейронная сеть.

**Результаты.** При сравнении результатов обследования пациентов основной и контрольной групп выявлено, что атрофия, кишечная метаплазия и сетчатый склероз чаще выявлялись у пациентов основной группы. У пациентов основной группы такие характеристики слизистой оболочки, как деформация микроструктуры, субэпителиальная ангиоархитектоника, дисплазия, кишечная и желудочная метаплазия, служили наиболее информативными предвестниками развития неопластических изменений слизистой оболочки пищевода. Точность валидации алгоритма с помощью нейронных сетей составила 84,15.

**Заключение.** Хромоэндоскопия с оптическим увеличением имеет безусловное преимущество перед рутинной методикой проведения эзофагогастродуоденоскопии для диагностики изменений слизистой оболочки пищевода, обладающих неопластическим потенциалом. Предложенный диагностический алгоритм поможет улучшить диагностику предраковых состояний у пациентов с пищеводом Баррета.

**Ключевые слова:** узкоспектральная видеоэндоскопия, увеличительная эндоскопия, гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь, нейронные сети, пищевод Баррета.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

Химина И.Н. — <https://orcid.org/0000-0003-3109-1972>; e-mail: [iri-khimina@yandex.ru](mailto:iri-khimina@yandex.ru)

Разинкин К.А. — <https://orcid.org/0000-0002-2032-3777>

Трифанов А.Н. — <https://orcid.org/0000-0002-2342-9913>

Минченко Ю.В. — <https://orcid.org/0000-0002-2195-444X>

Химин Н.П. — <https://orcid.org/0000-0002-6895-8202>

**Автор, ответственный за переписку:** Химина И.Н. — e-mail: [iri-khimina@yandex.ru](mailto:iri-khimina@yandex.ru)

### КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Химина И.Н., Разинкин К.А., Трифанов А.Н., Минченко Ю.В., Химин Н.П. Алгоритмизация диагностической тактики у пациентов с пищеводом Баррета по результатам увеличительной хромоэндоскопии. *Доказательная гастроэнтерология*. 2022;11(2):11–20. <https://doi.org/10.17116/dokgastro20221102111>

## Algorithm for Barrett's esophagus diagnosis based on the magnifying chromoendoscopy results

© I.N. KHIMINA<sup>1</sup>, K.A. RAZINKIN<sup>2</sup>, A.N. TRIFANOV<sup>3</sup>, YU.V. MINCHENKO<sup>4</sup>, N.P. KHIMIN<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Consultative and Diagnostic Center No. 6 Moscow Department of Health, Moscow, Russia;

<sup>2</sup>Voronezh State University, Voronezh, Russia;

<sup>3</sup>Voronezh Regional Clinical Consultative and Diagnostic Center, Voronezh, Russia;

<sup>4</sup>Central District Hospital, Neklinovsky District, Rostov Region, Pokrovskoye village, Russia;

<sup>5</sup>A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

### ABSTRACT

According to the Montreal consensus, Barrett's esophagus is a complication of GERD and is characterized by a change of normal squamous epithelium to the columnar epithelium and the development of intestinal metaplasia. Barrett's esophagus is a known precursor for esophageal adenocarcinoma.

**Objective.** We described a computer-assisted diagnostic algorithm for patients with Barrett's esophagus based on narrow-band imaging (NBI) and magnifying endoscopy.

**Material and methods.** 69 people with Barrett's esophagus were included in the study. 48 people from study group were examined by NBI and magnifying endoscopy; 21 people from control group were examined by conventional white-light endoscopy. Biopsy from metaplastic epithelium segments was sent for histology. The developed diagnostic algorithm based on statistical methods (Mann-Whitney test and Spearman's rank correlation test) was used to analyze data. We used a neural network to objectify and automate the diagnosis.

**Results.** Atrophy, intestinal metaplasia, and reticular sclerosis were more often detected in the main group. Mucosal characteristics such as irregular pattern, subepithelial angioarchitectonics, dysplasia, intestinal metaplasia, and gastric metaplasia were the most informative precursors of neoplasia. The algorithm validation accuracy using neural networks was 84.15.

**Conclusion.** NBI with magnifying endoscopy has an advantage over the conventional white-light endoscopy for diagnosing precancerous changes in esophageal mucosa. The proposed diagnostic algorithm will help improve the diagnosis of precancerous conditions in patients with Barrett's esophagus.

**Keywords:** narrow-band imaging, magnifying endoscopy, gastroesophageal reflux, neural networks, barrett's esophagus.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Khimina I.N. — <https://orcid.org/0000-0003-3109-1972>; e-mail: iri-khimina@yandex.ru

Razinkin K.A. — <https://orcid.org/0000-0002-2032-3777>

Trifanov A.N. — <https://orcid.org/0000-0002-2342-9913>

Minchenko Yu.V. — <https://orcid.org/0000-0002-2195-444X>

Khimin N.P. — <https://orcid.org/0000-0002-6895-8202>

**Corresponding author:** Khimina I.N. — e-mail: iri-khimina@yandex.ru

### TO CITE THIS ARTICLE:

Khimina IN, Razinkin KA, Trifanov AN, Minchenko YuV, Khimin NP. Algorithm for Barrett's esophagus diagnosis based on the magnifying chromoendoscopy results. *Russian Journal of Evidence-based Gastroenterology = Dokazatel'naya gastroenterologiya*. 2022;11(2):11–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/dokgastro20221102111>

## Введение

Согласно Монреальскому консенсусу и классификации гастроэзофагеальной рефлюксной болезни (ГЭРБ), пищевод Баррета (ПБ) является одним из эзофагеальных проявлений ГЭРБ и характеризуется замещением многослойного плоского неороговевающего эпителия слизистой оболочки пищевода цилиндрическим с признаками кишечной метаплазии [1]. Актуальность исследования обусловлена тем, что ПБ рассматривается как предраковое состояние и ассоциируется с повышенным риском развития аденокарциномы нижней трети пищевода.

Эзофагогастродуоденоскопия является ведущим методом диагностики ПБ. Верификация диагноза данного заболевания зависит от точного определения зоны взятия биопсийного материала, при этом возникают трудности при установлении анатомической области дистального отдела пищевода и карди-

ального отдела желудка — зоны пищеводно-желудочного перехода (ПЖП), проксимального края складок слизистой оболочки желудка, папиллярных сосудов слизистой оболочки, а также границ патологического сегмента [2]. У врачей-эндоскопистов с большим опытом при использовании стандартной эндоскопической техники эндоскопический и морфологический диагнозы заболевания совпадают в 80–90% случаев [3].

Своевременная диагностика ПБ и мониторинг пациентов позволяют улучшить прогноз в отношении развития злокачественного новообразования и снизить частоту летальных исходов. Возникает необходимость эффективной диагностики патологических сегментов метаплазированного эпителия пищевода с использованием виртуальной хромоэндоскопии [4, 5].

В связи с этим в работе предложен алгоритмический подход, интегрирующий методы статистическо-

го оценивания на основе непараметрических критериев, нечеткой логики, ранговой корреляции признаков, а также подходы и инструменты глубокого обучения на основе нейронных сетей для автоматизированного распознавания изображений с целью классификации патологических состояний при эзофагеальных проявлениях ГЭРБ.

Цель исследования — определить диагностическую эффективность узкоспектральной эндоскопии с оптическим увеличением у пациентов с ПБ.

## Материал и методы

В клинической части исследования сопоставлены результаты эндоскопического обследования и морфологическая оценка биопсийных препаратов 69 пациентов с ПБ. Пациентов основной группы ( $n=48$ ) обследовали с помощью хромоэндоскопии с оптическим увеличением, контрольной группы ( $n=21$ ) — стандартного метода — эндоскопии в белом свете.

При обследовании пациентов основной группы использован видеогастроскоп EG-2990Zi («HOYA Corporation», Япония), совмещенный с видеопроцессором ЕРК-і7000 Pentax. Пациенты контрольной группы обследованы с применением гастродифиброгастроскопа GIF-E3 («Olympus Medical Systems Corp.», Япония). Для гистологического исследования биоматериал взят непосредственно из сегментов метаплазированного эпителия.

Реализация диагностического алгоритма ГЭРБ (рис. 1) включала в себя следующие этапы:

1. Исследование частотных характеристик показателей эндоскопического обследования и морфологических критериев диагностики у пациентов основной и контрольной групп с оценкой чувствительности характеристик пациента к виду метода исследования с использованием непараметрического критерия Пирсона  $\chi^2$  [3].

2. Использование методов априорного ранжирования и представления лингвистических термов в рамках процедуры нечеткого оценивания для приведения к численному виду и нормирования качественных показателей [6].

3. Проверку гипотезы принадлежности к однородным генеральным совокупностям характеристик пациентов основной и контрольной групп на основе непараметрического критерия Манна—Уитни [7].

4. Численную оценку зависимости между эндоскопическими показателями и морфологическими характеристиками биопсийного материала больных основной и контрольной групп на основе критерия ранговой корреляции Спирмена и обоснование преимуществ определенной диагностической технологии [5].

5. Реализацию нейросетевого подхода к классификации изображений с целью повышения объек-

тивизации и автоматизации диагностики патологий у пациентов с ПБ.

6. Формирование обоснованных выводов.

Расчеты выполнены с использованием следующего программного обеспечения:

- подготовка, структурирование и фильтрация данных, а также расчеты численных и нормированных значений проведены в Microsoft Office Excel 2007;

- расчеты в соответствии со статистическими методами — в программе Statistica 10. ©«StatSoft, Inc».

- построение и обучение нейросетевой модели реализовано в интерактивном инструменте Deep Learning Designer («MathWorks MATLAB R2021b»).

## Результаты и обсуждение

### Клиническая часть

В исследование включены 69 человек с ПБ: в основную группу — 48 (65,56%), в контрольную — 21 (30,43%). В исследовании участвовало 22 (45,83%) мужчины и 26 (54,17%) женщин основной группы и 10 (47,61%) мужчин и 11 (52,38%) женщин контрольной группы. Сравнение частоты исследуемых показателей в основной и контрольной группах в зависимости от возраста представлено на рис. 2.

$\chi^2_{\text{крит}}(6)=12,6$ , значит  $\chi^2_{\text{крит}} < \chi^2_{\text{эмп}}$ , и, следовательно, гипотеза  $H_0$  отклоняется: при уровне значимости  $p=0,05$  следует считать, что тип исследования специфичен для пациентов разных возрастов.

На рис. 3 представлен ScreenShot модуля непараметрической статистики при анализе таблиц сопряженности для сравнения частот показателя «возраст» в основной и контрольной группах.

Для показателя «пол» (рис. 4) выборочное значение  $\chi^2_{\text{в}} < 3,84$ , тогда принимается гипотеза  $H_0$ : на уровне значимости  $\alpha=0,05$  следует считать, что эффективность как хромоэндоскопии, так и традиционной методики эндоскопии безотносительна (одинакова) к полу.

При осмотре в белом свете пациенты основной группы распределены по размерам и локализации сегментов с очагами патологических проявлений при ПБ следующим образом (рис. 5): короткие сегменты (<3 см) с гиперемией выше ПЖП — 41 (85,42%); средние сегменты (от 3 до 5 см) с гиперемией выше ПЖП — 5 (10,42%); длинные сегменты (>5 см) с гиперемией выше ПЖП — 2 (4,17%).

Распределение по размерам и локализации сегментов с очагами патологических проявлений при ПБ пациентов контрольной группы следующее: короткие сегменты (<3 см) с гиперемией выше ПЖП — 14 (66,67%); средние сегменты (от 3 до 5 см) с гиперемией выше ПЖП — 4 (19,05%); длинные сегменты (>5 см) с гиперемией выше ПЖП — 3 (14,29%).

Осмотр пациентов основной группы в режиме i-scan SE и TE позволил установить, что при применении технологии MagniView (увеличение в 136 раз)

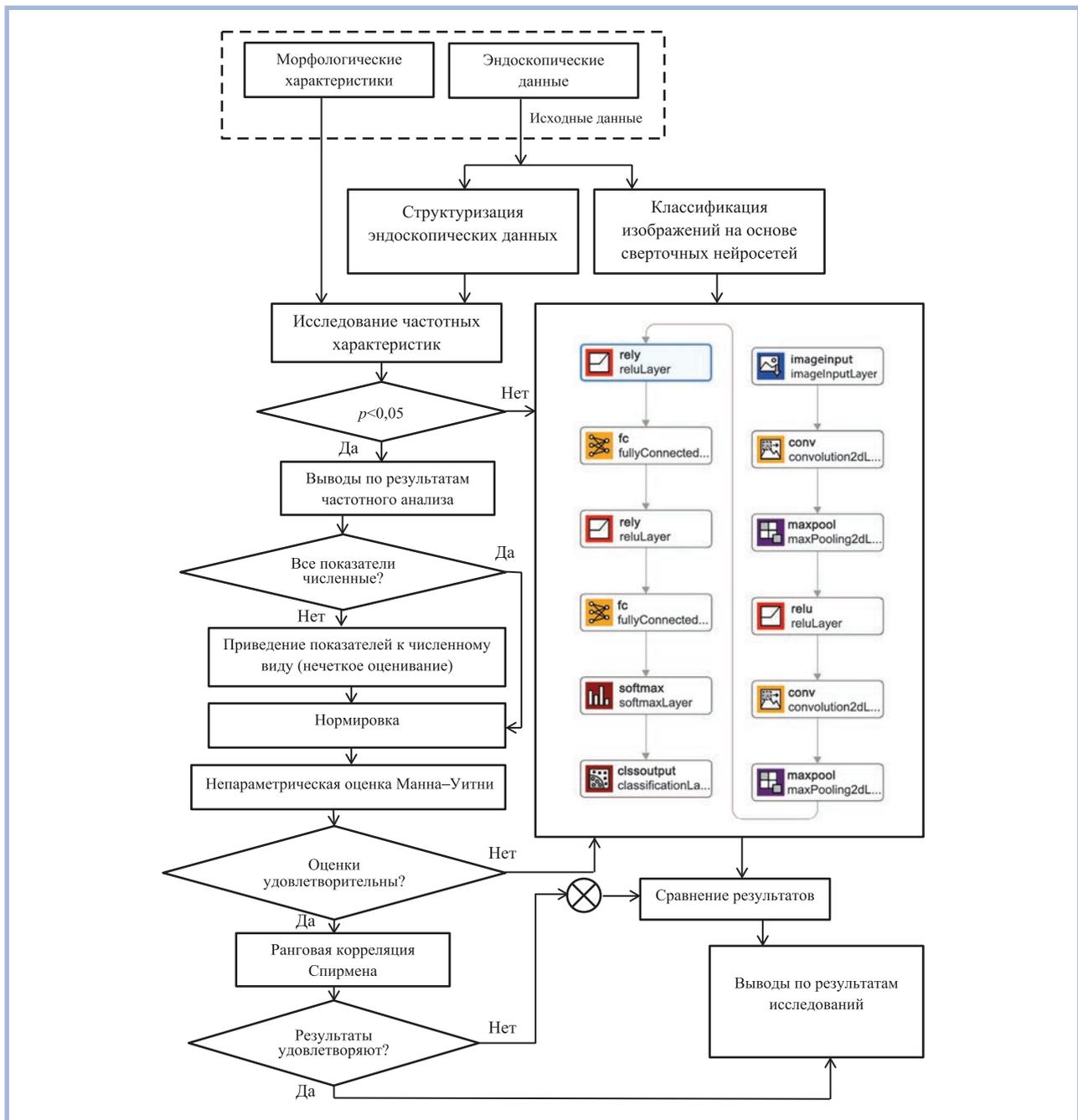


Рис. 1. Алгоритм диагностической тактики у пациентов с пищеводом Баррета.

Fig. 1. Diagnostic algorithm for patients with Barrett's esophagus.

деформация микроструктуры слизистой оболочки отмечена в 8 (16,67%) случаях, отсутствие данного эндоскопического показателя — в 40 (83,33%). Такое же соотношение наличия и отсутствия показателя характерно и для субэпителиальной ангиоархитектоники.

Частотные сравнения показателей выполнены по всем критериям в основной и контрольной группах. Проанализированы морфологические характеристики слизистой оболочки в зоне патологических

сегментов: желудочная и кишечная метаплазия, *Helicobacter Pylori* (HP), атрофия, дисплазия, сетчатый склероз.

HP у пациентов основной группы не выявлен. Слабая степень отмечена у 5 (23,81%) пациентов контрольной группы. Различие в группах по показателю HP статистически незначимое ( $p=0,72$ ).

Желудочная метаплазия отмечена у 26 (54,16%) пациентов основной группы и полностью отсутствовала у пациентов контрольной группы.

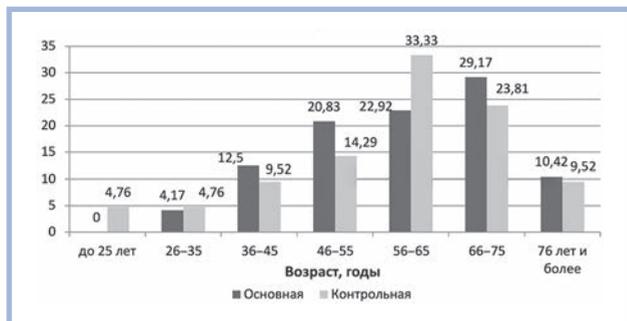


Рис. 2. Сравнение частоты исследуемых показателей в основной и контрольной группах в зависимости от возраста пациентов.  
Fig. 2. Age distribution in main and control groups.

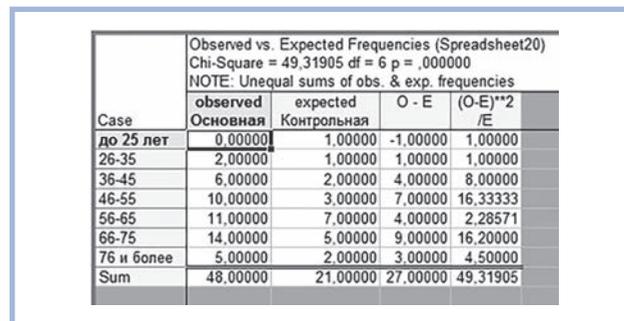


Рис. 3. Работа модуля непараметрической статистики при сравнении показателя «возраст» в основной и контрольной группах по критерию  $\chi^2$ .

Fig. 3. The module of non-parametric statistics when comparing the indicator «Age» in the main and control groups according to the chi-squared test.

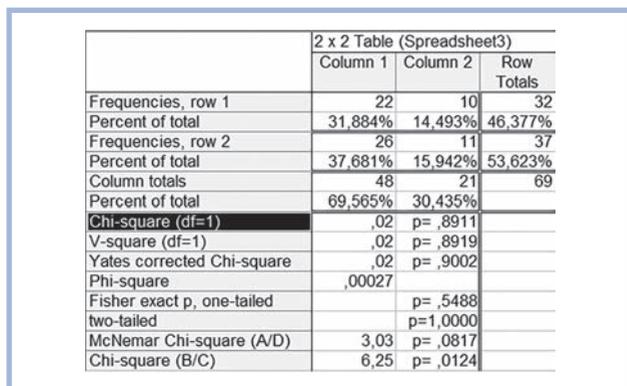


Рис. 4. Снимок экрана с результатами теста  $\chi^2$  при анализе таблицы 2x2.  
Fig. 4. Screenshot of chi-squared test results in a two-way table.

Кишечная метаплазия у пациентов основной группы отсутствовала в 26 (54,17%) случаях, слабая степень отмечена в 12 (25,0%), умеренная — в 6 (12,5%), выраженная — в 4 (8,33%). У пациентов контрольной группы умеренная степень кишечной метаплазии отмечена в 21 (100%) случае.

Дисплазия у исследуемых основной группы отсутствовала в 37 (77,08%) случаях, слабая степень не выявлена, умеренная — выявлена у 6 (12,5%) пациентов, выраженная — у 5 (10,42%). В контрольной группе дисплазии не было у 21 (100%) пациента.

Сетчатый склероз у исследуемых основной группы не определялся в 100% случаев и отмечен у 2 (9,52%) пациентов контрольной группы. Различие в группах по показателю «сетчатый склероз» статистически значимое ( $p=0,05$ ).

Атрофия у пациентов основной группы отсутствовала, атрофия слабой степени отмечена у 1 (4,76%) пациента контрольной группы, у остальных пациентов не выявлена.

Дальнейший анализ позволяет сделать вывод, что по остальным показателям (кроме «атрофии») принималась альтернативная гипотеза  $H_1$ . Напри-

мер, для признака «кишечная метаплазия» эффективность методики различная в зависимости от возраста.

Результаты применения непараметрического критерия Манна—Уитни для сравнения выборок пациентов основной и контрольной групп представлены на рис. 6. Как видно из рис. 6, статистическая значимость различий тем выше, чем меньше значение  $U$ . Статистически значимые различия отмечены по таким показателям, как «атрофия», «кишечная метаплазия» и «сетчатый склероз». Причем различия в группах по показателю «кишечная метаплазия» отмечены на основе  $Z$ -теста, а по показателям «атрофия» и «сетчатый склероз» — на основе скорректированного значения  $Z$ -оценки.  $Z$ -статистика вычисляется как отношение разницы между случайной величиной и математическим ожиданием к стандартной ошибке этой случайной величины. Таким образом, статистически значимые различия в группах отмечены по ведущим показателям диагностики неоплазий.

Взаимосвязь показателей внутри групп (основная и контрольная) проанализирована с использованием непараметрических статистических оценок — коэффициентов ранговой корреляции Спирмена. Цель подобного анализа — установление статистически значимой взаимосвязи между показателями эндоскопической диагностики слизистой оболочки желудка при различных размерах и локализациях сегментов с очагами патологических проявлений при ПБ с морфологическими критериями диагностики тех же нозологических единиц.

В табл. 1 и 2 представлены проранжированные по модулю коэффициенты корреляции Спирмена в основной группе. Отрицательные коэффициенты говорят о наличии обратной линейной зависимости между показателями. Выделенным шрифтом отмечены значения коэффициентов ранговой корреляции при уровне значимости  $p<0,05$  (достоверно значимые коэффициенты).

Как видно из табл. 1, в основной группе при оценке показателей эндоскопической диагностики при осмо-



Рис. 5. Сравнение частоты исследуемых показателей в основной и контрольной группах в зависимости от размеров и локализации сегментов с очагами патологических проявлений при осмотре в белом свете пациентов с пищеводом Баррета ( $\chi^2_{\text{в}}=52,65, p<0,05$ ). ПЖП — пищеводно-желудочный переход.

Fig. 5. Frequency of the studied indicators in the main and control groups, depending on the size and localization of the precancerous changes ( $\chi^2_{\text{в}}=52.65, p<0.05$ ). ПЖП — esophagogastric junction

variable	Rank Sum		U	Z	p-value	Z adjusted	p-value	Valid N Group 1	Valid N Group 2	2*1sided exact p
	Group 1	Group 2								
Пол	2342,500	72,50000	64,50000	-0,071535	0,942972	-0,08281	0,934002	67	2	0,928389
Возраст	2347,500	67,50000	64,50000	0,071535	0,942972	0,07270	0,942043	67	2	0,928389
Осмотр в белом свете Pit-паттерн-HP	2370,000	45,00000	42,00000	0,876305	0,380665	1,24844	0,211871	67	2	0,412617
Атрофия	2340,000	75,00000	62,00000	-0,160954	0,872130	-0,35840	0,720043	67	2	0,872975
Желудочная метаплазия	2378,500	38,50000	33,50000	1,180329	0,237870	<b>5,70153</b>	<b>0,000000</b>	67	2	0,260870
Кишечная метаплазия	2319,000	96,00000	41,00000	-0,912073	0,361731	-1,08655	0,277235	67	2	0,393862
Дисплазия	2389,000	26,00000	23,00000	<b>1,255888</b>	<b>0,019736</b>	<b>1,64628</b>	<b>0,049708</b>	67	2	0,132992
Сетчатый склероз	2267,000	79,00000	56,00000	-0,344828	0,730224	-0,56037	0,575229	66	2	0,738367
	2393,000	22,00000	19,00000	1,098959	0,089328	<b>2,13156</b>	<b>0,033046</b>	67	2	0,093777

Рис. 6. Результаты сравнения основной и контрольной групп пациентов с пищеводом Баррета по критерию Манна—Уитни.

Fig. 6. Comparison of the main and control groups using the Mann—Whitney test.

тре в белом свете на первом и втором местах выявлена статистически значимая корреляция с деформацией микроструктуры слизистой оболочки и субэпителиальной ангиоархитектоникой, диагностированными с применением технологии оптического увеличения при осмотре в режиме i-scan SE и TE ( $r_s=0,770$ ). Третье и четвертое место по корреляции с осмотром в белом свете занимают такие показатели, как дисплазия ( $r_s=0,530$ ) и кишечная метаплазия ( $r_s=0,455$ ). На пятом месте — желудочная метаплазия ( $r_s=-0,334$ ). Такое распределение первых пяти мест по значениям коэффициентов корреляции в основной группе говорит о том, что, являясь наиболее информативными предвестниками неопластических изменений слизистой оболочки пищевода, данные показатели успешно выявляются в результате проведения эндоскопического исследования с применением HD-технологии в узком спектре с оптическим увеличением.

Взаимосвязь морфологических критериев диагностики с показателями состояния слизистой оболочки при ПБ показана в табл. 2.

Как видно из табл. 2, наиболее тесным образом с кишечной метаплазией связаны показатели желу-

дочной метаплазии ( $r_s=-0,888$ : первое место). Второе и третье места по степени взаимосвязи с показателем «кишечная метаплазия» разделили дисплазия ( $r_s=0,790$ ) и субэпителиальная ангиоархитектоника ( $r_s=0,653$ ).

Такое распределение первых трех мест в порядке убывания модулей коэффициентов корреляции неслучайно, поскольку развитие неоплазии — многоступенчатый процесс, кишечная метаплазия, дисплазия являются последовательными стадиями единого процесса и нередко сочетаются, а как известно, обнаружение признаков кишечной метаплазии, дисплазии должно обязательно насторожить врача, поскольку данное сочетание является предраковым состоянием, при котором показано динамическое наблюдение [8—11].

Анализируя наиболее информативные корреляции с точки зрения совпадения эндоскопического и морфологического диагнозов у пациентов основной группы, следует отметить, что наличие морфологических признаков кишечной метаплазии коррелирует с деформацией микроструктуры слизистой оболочки желудка (четвертое место —  $r_s=0,653$ ) и осмотром в белом свете (пятое место —  $r_s=0,455$ ).

Таблица 1. Взаимосвязь показателей и результатов эндоскопической диагностики при пищеводе Барретта

Table 1. Interrelation of indicators and endoscopy results in Barrett's esophagus

Наименование показателя	Осмотр в белом свете		Деформация микроструктуры слизистой оболочки при осмотре в режиме хромоэндоскопии с оптическим увеличением в 136 раз	
	г	ранг	г	ранг
Желудочная метаплазия	<b>-0,33481</b>	5	<b>-0,486172</b>	4
Пол	-0,20433	6	-0,261785	5
Возраст	-0,16521	7	-0,109633	6
Кишечная метаплазия	<b>0,45592</b>	4	<b>0,653753</b>	3
Дисплазия	<b>0,53076</b>	3	<b>0,762932</b>	2
Деформация микроструктуры слизистой оболочки	<b>0,77019</b>	2	1,0000	
Субэпителиальная ангиоархитектоника	<b>0,77019</b>	1	—	—
Осмотр в белом свете	1,0000		<b>0,770193</b>	1

Таблица 2. Взаимосвязь показателей с морфологическими характеристиками, являющимися маркерами пищевода Барретта

Table 2. Correlation of indicators with histological signs of Barrett's esophagus

Наименование показателя	Кишечная метаплазия		Дисплазия	
	г	ранг	г	ранг
Желудочная метаплазия	<b>-0,88814</b>	1	<b>-0,574513</b>	4
Пол	-0,21288	6	-0,244379	6
Возраст	-0,20882	7	-0,20220	7
Осмотр в белом свете	<b>0,45592</b>	5	<b>0,530763</b>	5
Деформация микроструктуры слизистой оболочки при осмотре в режиме хромоэндоскопии с оптическим увеличением в 136 раз	<b>0,65375</b>	4	<b>0,762932</b>	3
Субэпителиальная ангиоархитектоника при осмотре в режиме хромоэндоскопии с оптическим увеличением в 136 раз	<b>0,65375</b>	3	<b>0,762932</b>	2
Дисплазия	<b>0,79051</b>	2	1,0000	
Кишечная метаплазия	1,0000		<b>0,790513</b>	1

Аналогичные (по местам, но не по значениям) коэффициенты корреляции отмечены и при оценке взаимосвязи морфологических признаков дисплазии и остальных признаков: с кишечной метаплазией ( $r_s=0,79$ ), субэпителиальной архитектоникой и деформацией микроструктуры слизистой оболочки ( $r_s=0,653$ ), желудочной метаплазией ( $r_s=-0,574$ ), осмотром в белом свете ( $r_s=0,530$ ). Подобные коэффициенты корреляции (корреляционные зависимости) обусловлены, по нашему мнению, в первую очередь тем, что с возрастом в эпителии и сосудисто-мезенхимальном компоненте развиваются различной степени выраженности дисрегенераторные и дистрофические изменения, которые приводят к развитию метаплазии и дисплазии [10–12].

Оценка связи показателей деформации микроструктуры слизистой оболочки и ангиоархитектоники с остальными показателями пациентов позволила сделать следующие выводы:

— деформация микроструктуры слизистой оболочки наиболее тесно связана с осмотром в узком спектре ( $r_s=0,770$  — первое место);

— на втором, третьем и четвертом местах расположились коэффициенты корреляции деформации микроструктуры и ангиоархитектоники слизистой оболочки пищевода с морфологическими признака-

ми дисплазии ( $r_s=0,762$ ), кишечной ( $r_s=0,653$ ) и желудочной ( $r_s=-0,486$ ) метаплазии соответственно.

Такие значения коэффициентов корреляции говорят о высокой диагностической эффективности узкоспектральной эндоскопии с оптическим увеличением в выявлении патологических зон слизистой оболочки пищевода, соответствующих морфологическим критериям, предшествующим неопластическим процессам: кишечной метаплазии, желудочной метаплазии, дисплазии.

### Нейронная сеть

Для автоматической классификации изображений решено использовать сверточную нейросеть глубиной 6 слоев (помимо входного и выходного слоя) [12–17]. В качестве инструмента выбрана интерактивная среда — Deep Learning Designer («MathWorks MATLAB R2021b») с целью дополнительного подтверждения диагноза ПБ. На рис. 7 представлен дизайн архитектуры сети.

Для обучения использован dataset Esophageal Endoscopy Images, который содержал 1 689 файлов изображений с верифицированным диагнозом по результатам эндоскопии — эзофагит, ПБ и 8 973 файлов — эзофагит не диагностирован. Сеть имеет размер входного изображения 227 на 227 (рис. 8). Результаты

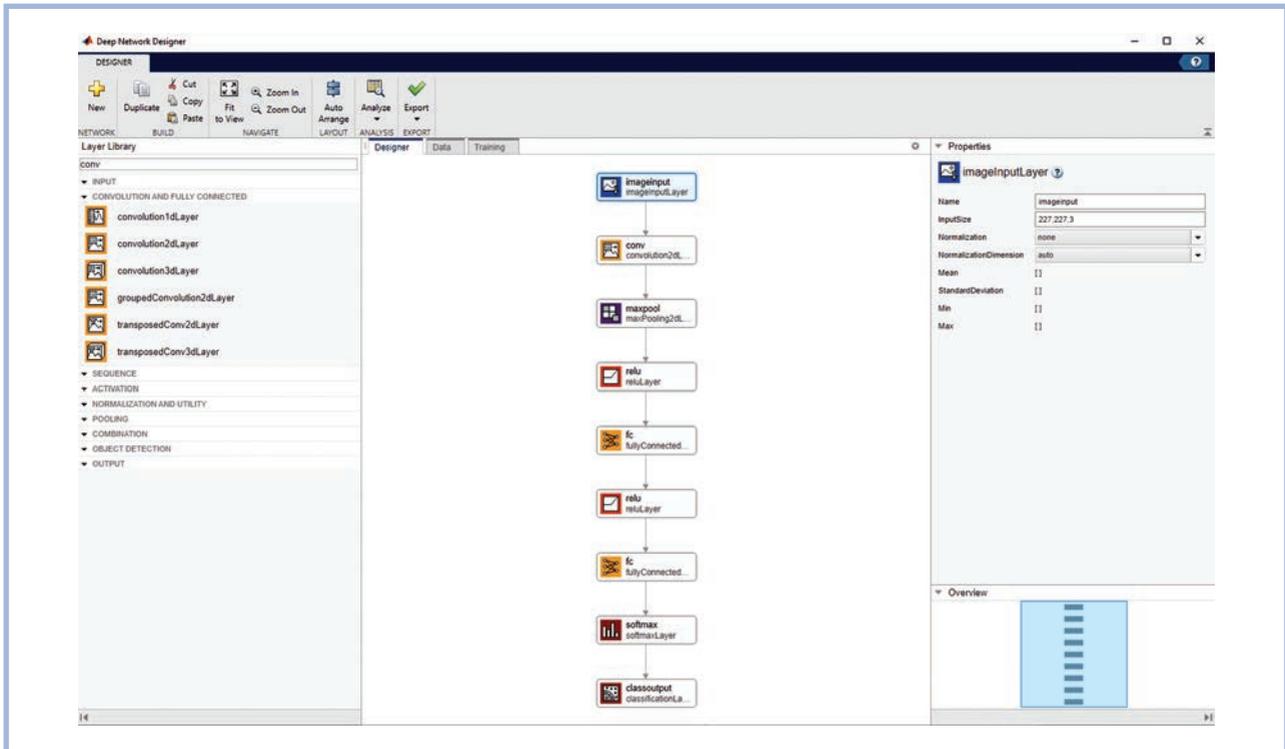


Рис. 7. Дизайн исследования (архитектура нейросети).

Fig. 7. Study design (neural network architecture).

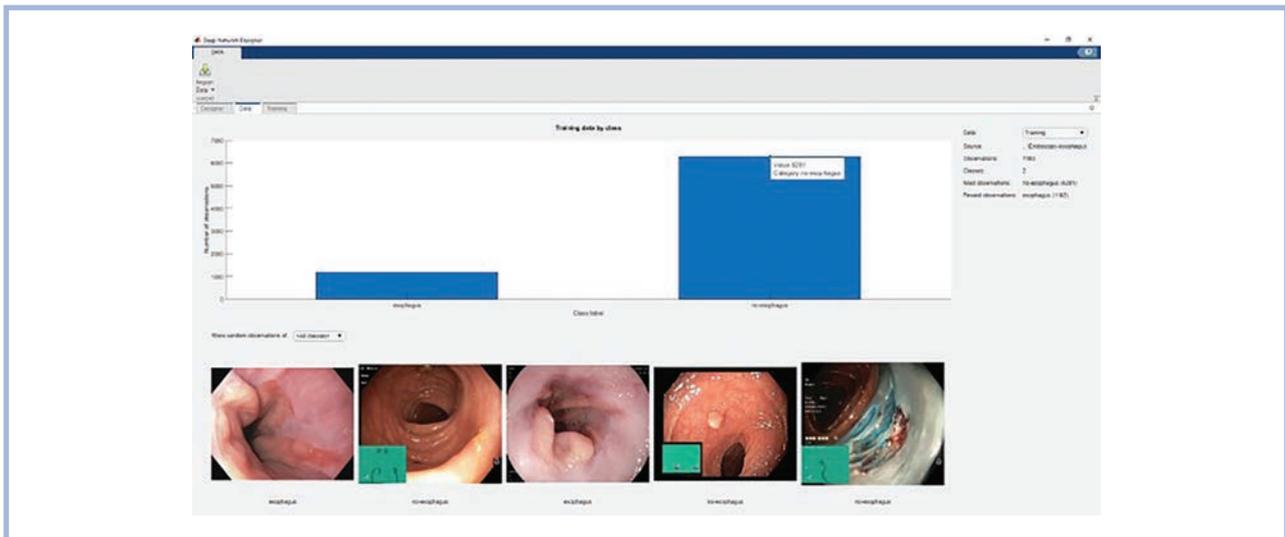


Рис. 8. Предварительное представление исходных данных с разбивкой на классы.

Fig. 8. Preliminary presentation of the initial data broken down into classes.

обучения представлены на **рис. 9**, из которого видно, что точность валидации составила 84,15, это говорит о достоверном качестве проведенных исследований с помощью инновационной методики обследования пациентов с ПБ. Фрагмент работы нейросети по классификации изображений на классы представлен на **рис. 10**.

Таким образом, алгоритмизация принятия врачебных решений при выборе диагностической тактики ведения пациентов дает возможность рационализировать раннее выявление изменений слизистой оболочки пищевода, предшествующих неопластическим, при совпадении с морфологическим заключением у пациентов с установленным диагнозом ПБ.



Рис. 9. Результаты обучения нейросети.  
Fig. 9. The results of neural network training.

## Заключение

Частотный сравнительный анализ результатов обследования пациентов основной и контрольной групп позволил выявить особенности качественного состава по всей совокупности как эндоскопических, так и морфологических показателей. Благодаря методике приведения качественных оценок к количественным на основе использования экспертных методов и применения непараметрического статистического критерия Манна—Уитни отклонена гипотеза  $H_0$  о принадлежности к однородным генеральным совокупностям характеристик пациентов основной и контрольной групп, статистически значимо подтверждены различия в группах пациентов по всем показателям.

Сравнивая табл. 1 и 2, можно увидеть, что количество статистически значимых коэффициентов ранговой корреляции Спирмена в контрольной группе

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Vakil N, van Zanten SV, Kahrilas P, Dent J, Jones R; Global Consensus Group. The Montreal definition and classification of gastroesophageal reflux disease: a global evidence-based consensus. *American Journal of Gastroenterology*. 2006;101(8):1900-1920.
2. Bornschein J, Bird-Lieberman EL, Malfertheiner P. The Rationale and Efficacy of Primary and Secondary Prevention in Adenocarcinomas of the Upper Gastrointestinal Tract. *Digestive Diseases*. 2019;37(5):381-393. <https://doi.org/10.1159/000499706>
3. Fabisiak A, Bartoszek A, Kardas G, Fabisiak N, Fichna J. Possible application of trefoil factor family peptides in gastroesophageal reflux and Barrett's esophagus. *Peptides*. 2019;115:27-31. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2019.02.007>
4. Зайрат'янец О.В., Кононов А.В. Патологическая анатомия пищевода Барретта. Клинические рекомендации. Российское общество патологоанатомов. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2016. Zajrat'yanec OV, Kononov AV. *Patologicheskaya anatomiya pishchevoda Barretta. Klinicheskie rekomendacii. Rossijskoe obshchestvo patologoanatomov*. M.: GEOTAR-Media; 2016. (In Russ.).
5. Химина И.Н. Атлас эндоскопии верхних отделов желудочно-кишечного тракта: диагностические возможности виде-

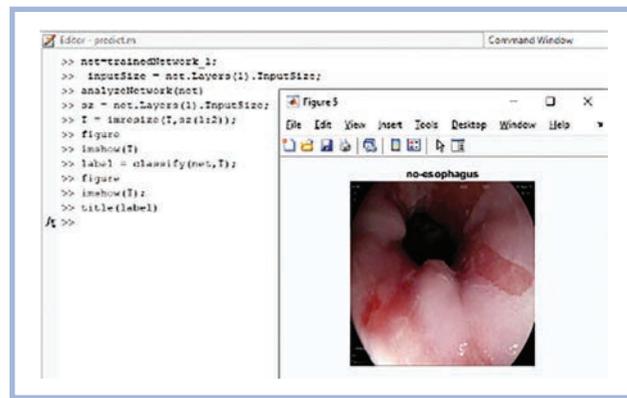


Рис. 10. Результат классификации изображений с установлением диагноза.  
Fig. 10. Result of image classification with diagnosis.

значительно меньше, чем в основной, что позволяет сделать вывод о лучшем совпадении эндоскопического и морфологического диагноза заболевания при применении методики узкоспектральной эндоскопии с оптическим увеличением.

Полученные данные свидетельствуют о высокой диагностической эффективности инновационной технологии в выявлении изменений слизистой оболочки пищевода, обладающих неопластическим потенциалом. Данная инновационная технология имеет безусловное преимущество перед рутинной методикой проведения эзофагогастродуоденоскопии и подтверждает необходимость более детального обследования пациентов с пищеводом Барретта.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflict of interest.

6. Вуколов Э.Л. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операции с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: учебное пособие. 2-е изд., исправ. и доп. М.: ФОРУМ; 2008. Vukolov EL. *Osnovy statisticheskogo analiza. Praktikum po statisticheskim metodam i issledovaniyu operacii s ispol'zovaniem paketov STATISTICA i EXCEL: uchebnoe posobie*. 2-e izd., isprav. i dop. M.: FORUM; 2008. (In Russ.).
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург; 2005.

- Leonenkov AV. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzy-TECH*. SPb.: BHV-Peterburg; 2005. (In Russ.).
8. Khimina IN, Trifanov AN, Minchenko YV, Khimin NP, Razinkin KA. Assessment of the Efficiency of the Narrow-Band Imaging With Optical Magnification in the Diagnostics of Upper Gastrointestinal Diseases. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019;8(3):4564-4574. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C6827.098319>
9. Медик В.А., Токмачев М.С. *Математическая статистика в медицине в 2 т. Том 1: учебное пособие для среднего профессионального образования*. М.: Издательство Юрайт; 2018. Medik VA, Tokmachev MS. *Matematicheskaya statistika v medicine v 2 t. Tom 1: uchebnoe posobie dlya srednego professional'nogo obrazovaniya*. М.: Izdatel'stvo Yurajt; 2018. (In Russ.).
10. Kohoutova D, Haidry R, Banks M, Butt MA, Dunn J, Thorpe S, Lovat L. Long-term outcomes of the randomized controlled trial comparing 5-aminolaevulinic acid and Photofrin photodynamic therapy for Barrett's oesophagus related neoplasia. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*. 2018;53(5):527-532. <https://doi.org/10.1080/00365521.2017.1403646>
11. Yang PW, Chiang TH, Hsieh CY, Huang YC, Wong LF, Hung MC, Tsai JC, Lee JM. The effect of ephrin-A1 on resistance to Photofrin-mediated photodynamic therapy in esophageal squamous cell carcinoma cells. *Lasers in Medical Science*. 2015;30(9):2353-2361. <https://doi.org/10.1007/s10103-015-1812-8>
12. Nowicki-Osuch K, Di Pietro M. How Deep Are the Roots of Barrett's Esophagus? *Gastroenterology*. 2019;156(6):1928-1930. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2019.03.036>
13. Steele D, Baig KK, Peter S. Evolving screening and surveillance techniques for Barrett's esophagus. *World Journal of Gastroenterology*. 2019;25(17):2045-2057. <https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i17.2045>
14. Watanabe M, Nakatani E, Yoshikawa H, Kanno T, Nariai Y, Yoshino A, Vieth M, Kinoshita Y, Sekine J. Oral soft tissue disorders are associated with gastroesophageal reflux disease: retrospective study. *BMC Gastroenterology*. 2017;17(1):92. <https://doi.org/10.1186/s12876-017-0650-5>
15. Khimin N, Khimina I, Trifanov A, Minchenko Y, Razinkin K. Diagnostic efficiency of the use of a magnifying chromoendoscopy when examining the oral cavity in patients with a gastroenterological profile with extraesophageal manifestations of reflux disease. *Georgian Medical News*. 2020;1(298):88-93.
16. Train Deep Learning Network to Classify New Images. Accessed February 04, 2022. <https://www.mathworks.com/help/releases/R2020b/deeplearning/ug/train-deep-learning-network-to-classify-new-images.html>
17. Николенко С.И., Кадурич А.А., Архангельская Е.О. *Глубокое обучение*. СПб.: Питер; 2018. Nikolenko SI, Kadurich AA, Arhangel'skaya EO. *Glubokoe obuchenie*. SPb.: Piter; 2018. (In Russ.).

Поступила 28.02.2022

Received 28.02.2022

Принята к печати 05.04.2022

Accepted 05.04.2022