



# Текстурный анализ КТ-изображений в дифференциации опухолей головы и шеи

Ходжибекова Ю.М.<sup>1</sup>, Ходжибеков М.Х.<sup>2</sup>, Ахмедов Б.Р.<sup>2</sup>, Паттохов А.Ш.<sup>2</sup>, Нигматжанов А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ташкентский государственный стоматологический институт, ул. Тараққийот, 103, Ташкент, 100047, Узбекистан;

<sup>2</sup> Ташкентская медицинская академия, ул. Фаробий, 2, Ташкент, 100109, Узбекистан

**Ходжибекова Юлдуз М.**, д.м.н., профессор кафедры онкологии и медицинской радиологии Ташкентского государственного стоматологического института; <https://orcid.org/0000-0002-0058-5905>

**Ходжибеков Марат Х.**, д.м.н., профессор кафедры медицинской радиологии Ташкентской медицинской академии; <https://orcid.org/0000-0002-4202-1913>

**Ахмедов Бахтияр Р.**, к.м.н., ассистент кафедры медицинской радиологии Ташкентской медицинской академии; <https://orcid.org/0000-0003-1482-3510>

**Паттохов Азиз Ш.**, магистрант кафедры медицинской радиологии Ташкентской медицинской академии; <https://orcid.org/0000-0001-6570-9772>

**Нигматжанов Абдурашид С.**, ассистент кафедры медицинской радиологии Ташкентской медицинской академии; <https://orcid.org/0000-0001-8305-2313>

## Резюме

**Цель:** определить диагностическую значимость текстурного анализа компьютерно-томографических изображений (КТТА) в дифференциации опухолей головы и шеи.

**Материал и методы.** В исследование включены 118 пациентов в возрасте от 4 до 80 лет с верифицированным диагнозом доброкачественной и злокачественной опухоли (37 и 81 человек соответственно) головы и шеи. КТТА проводили с использованием программы LIFEx версии 6.30. Извлеченные из рутинных КТ-изображений 38 текстурных показателей подвергнуты регрессионному анализу с созданием логистических текстурных моделей с ассоциациями из четырех показателей в виде независимых предикторов.

**Результаты.** Установлена возможность использования производных моделей – текстурных индексов вероятности для дифференциации доброкачественных и злокачественных опухолей: площадь под ROC-кривой (AUC)  $0,854 \pm 0,035$  ( $p < 0,001$ ); для разграничения местно-распространенных опухолей от местно-ограниченных: AUC  $0,840 \pm 0,049$  ( $p < 0,001$ ); для дискриминации умеренно-, низко-, и недифференцированного рака (G2, G3, G4) от высокодифференцированного (G1) рака головы и шеи: AUC  $0,826 \pm 0,085$  ( $p < 0,001$ ).

**Заключение.** Текстурный анализ КТ-изображений позволяет неинвазивно предсказать доброкачественную или злокачественную природу визуализируемого образования головы и шеи, а также определить распространенность и степень злокачественности опухолевого поражения.

**Ключевые слова:** пространственная гетерогенность; текстурный анализ; компьютерная томография; опухоли головы и шеи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Ходжибекова Ю.М., Ходжибеков М.Х., Ахмедов Б.Р., Паттохов А.Ш., Нигматжанов А.С. Текстурный анализ КТ-изображений в дифференциации опухолей головы и шеи. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2022; 103(4–6): 28–35. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-4-6-28-35>

**Для корреспонденции:** Ходжибекова Юлдуз Маратовна, E-mail: [yulduz.khodjibekova@mail.ru](mailto:yulduz.khodjibekova@mail.ru)

Статья поступила 01.03.2022

После доработки 10.08.2022

Принята к печати 11.08.2022

## Texture Analysis of CT Images in Head and Neck Tumors Differentiation

Yulduz M. Khodjibekova<sup>1</sup>, Marat Kh. Khodjibekov<sup>2</sup>, Bakhtiyar R. Akhmedov<sup>2</sup>, Aziz Sh. Pattokhov<sup>2</sup>, Abdurashid S. Nigmatdjanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tashkent State Dental Institute, ul. Taraqiyot, 103, Tashkent, 100047, Uzbekistan;

<sup>2</sup> Tashkent Medical Academy, ul. Farobiy, 2, Tashkent, 100109, Uzbekistan

**Yulduz M. Khodjibekova**, Dr. Med. Sc., Professor, Chair of Oncology and Medical Radiology, Tashkent State Dental Institute; <https://orcid.org/0000-0002-0058-5905>

**Marat Kh. Khodjibekov**, Dr. Med. Sc., Professor, Chair of Medical Radiology, Tashkent Medical Academy; <https://orcid.org/0000-0002-4202-1913>

**Bakhtiyor R. Akhmedov**, MD, PhD, Assistant Professor, Chair of Medical Radiology, Tashkent Medical Academy; <https://orcid.org/0000-0003-1482-3510>

**Aziz Sh. Pattokhov**, Master's Student, Chair of Medical Radiology, Tashkent Medical Academy; <https://orcid.org/0000-0001-6570-9772>

**Abdurashid S. Nigmatdjanov**, MD, Assistant Professor, Chair of Medical Radiology, Tashkent Medical Academy; <https://orcid.org/0000-0001-8305-2313>

### Abstract

**Objective:** to determine the diagnostic significance of computed tomography texture analysis (CTTA) in differentiating head and neck tumors.

**Material and methods.** The study included 118 patients aged from 4 to 80 years with a verified diagnosis of benign and malignant (37 and 81, respectively) head and neck tumors. CTTA was performed using the LIFEx program, version 6.30. Thirty eight (38) texture indices extracted from routine CT images were tested by regression analysis with creation of logistic texture models with associations of four indices as independent predictors.

**Results.** The possibility of using derived models – probability textural indices for benign and malignant tumors differentiation was established: area under ROC-curve (AUC)  $0.854 \pm 0.035$  ( $p < 0.001$ ); for differentiation of locally spread from locally limited tumors: AUC  $0.840 \pm 0.049$  ( $p < 0.001$ ); for differentiation of moderately, poorly, and undifferentiated cancer (G2, G3, G4) from well-differentiated (G1) head and neck cancer: AUC  $0.826 \pm 0.085$  ( $p < 0.001$ ).

**Conclusion.** CT images texture analysis allows to make non-invasive prognosis of benign or malignant nature of a visualized head and neck tumor, as well as to determine the extent and degree of tumor malignancy.

**Keywords:** spatial heterogeneity; texture analysis; computed tomography; head and neck tumors.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Khodjibekova YM, Khodjibekov MKh, Akhmedov BR, Pattokhov AS, Nigmatdjanov AS. Texture analysis of CT images in head and neck tumors differentiation. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2022; 103(4–6): 28–35 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-4-6-28-35>

**For corresponding:** Yulduz M. Khodjibekova, E-mail: [yulduz.khodjibekova@mail.ru](mailto:yulduz.khodjibekova@mail.ru)

Received March 1, 2022

Revised August 10, 2022

Accepted August 11, 2022

### Введение

Распространенность рака головы и шеи составляет в среднем 7–25% от всех злокачественных опухолей в мире. Имеются географические различия: более высокие показатели встречаемости заболевания в Юго-Восточной и, в некоторой степени, Центральной Азии [1].

Диагностика рака головы и шеи представляет определенные трудности в связи с анатомической сложностью исследуемой области, многообразием путей распространения опухолей данной локализации и трудности распознавания отдельных признаков. Поэтому значимое место в обследовании таких больных принадлежит методам визуализации, в частности компьютерной томографии (КТ), которая утвердилась как одна из важных модальностей диагностики и оценки распространенности опухолей головы и шеи.

Анализ КТ-изображений обычно ограничивается качественной оценкой видимых анатомических деталей, по которым делается заключение о наличии опухолевого поражения, его местной и региональной распространенности. В редких случаях для количественной оценки используется КТ

с динамическим контрастным усилением, позволяющая определить параметры кровотока и оценить ангиогенез опухоли [2, 3].

Вместе с тем существует другая возможность количественной функциональной оценки опухолей – с использованием компьютерного текстурного анализа изображений, в том числе полученных при КТ-исследовании (КТТА) [4, 5]. Текстурный анализ позволяет определить количественные показатели пространственной гетерогенности опухолей на неразличимом глазом микроскопическом уровне. Установлено, что гетерогенность опухоли определяет ее биологическое поведение: чем гетерогеннее опухоль, тем более она агрессивна и резистентна к лечению [6–8].

**Цель исследования** – определить диагностическую значимость КТТА в дифференциации опухолей головы и шеи.

### Материал и методы

Текстурный анализ рутинных КТ-изображений выполнен ретроспективно у 118 больных с опухолями головы и шеи, в том числе у 81 со злокачественными и у 37 с доброкачественными.

Морфологическая верификация, основанная на патогистологических исследованиях образцов тканей, полученных при эндоскопической или открытой биопсии, имела у всех пациентов со злокачественными и у 20 больных с доброкачественными опухолями головы и шеи. В остальных 17 случаях диагноз доброкачественной опухоли основывался на данных комплексного обследования, включая эндоскопию и КТ, и подтверждался типичными клиническими проявлениями и течением заболевания.

КТ у всех больных выполняли на компьютерном томографе Somatom Emotion 6 (Siemens, Германия) в спиральном режиме с толщиной томографических срезов 1,5 мм, питчем 1,0, напряжением рентгеновской трубки 100–120 кВ, силой тока 100–200 мА. Исследование проводили без контрастного усиления. Изучали альтернативный способ получения функциональной информации с применением текстурного анализа рутинных бесконтрастных КТ-изображений.

Постпроцессинг включал два этапа: на первом проводили качественный визуальный анализ КТ-сканов, на втором оценивали изображения по количественным текстурным параметрам внутриопухолевой пространственной гетерогенности. Визуальный анализ изображений, полученных при КТ, ориентировался на нахождение признаков, специфично характеризующих природу и распространенность опухолевого поражения. При этом пользовались имеющимся в свободном доступе мобильным приложением TNM Cancer Staging App, разработанным Tata Medical Centre (Индия) совместно с МАГАТЭ. В этом приложении можно быстро найти информацию о классификации TNM и стадировании клинических групп рака любой локализации, что является хорошим ориентиром для целенаправленного анализа данных онковизуализации. Кроме того, приложение содержит интерактивную часть, которая также быстро помогает по визуализируемым на КТ-сканах признакам классифицировать стадии TNM и клиническую группу.

Далее выполняли КТТА, который состоял из нескольких последовательных действий: 1) очерчивание области интереса (region of interest, ROI); 2) извлечение программным путем текстурных показателей внутриопухолевой пространственной гетерогенности; 3) отбор значимых текстурных показателей; 4) регрессионный анализ отобранных показателей с построением логистической текстурной модели; 5) ROC-анализ (receiver operating characteristic – операционная характеристика приемника) показателя логистической регрессии с определением пороговых уровней-ориентиров для стратификации опухолей головы и шеи.

Для извлечения текстурных показателей использовали программу LIFEx версии 6.30 [9], по-

зволяющую получать различные текстурные показатели с применением методов статистики первого, второго и высшего порядков. Текстурные показатели первого порядка извлекали из гистограммы дискредитированных значений вокселей изображения безотносительно к их пространственному распределению. Текстурные показатели второго порядка дают признаки пространственного расположения интенсивностей вокселей в определенном порядке и извлекаются из матрицы совпадений серых уровней GLCM (gray level co-occurrence matrix). Текстурные показатели высшего порядка извлекали из матрицы длин серых уровней GLRLM (gray level run length matrix), матрицы различий соседних серых уровней NGLDM (neighborhood gray level difference matrix) и матрицы протяженности зон серых уровней GLZLM (gray level zone length matrix).

Все действия по текстурному анализу изображений, за исключением ручного очерчивания ROI, выполнялись компьютером с использованием методов и программ математической статистики.

## Результаты

В каждом отдельном случае из очерченных ROI на КТ-изображениях с использованием программы текстурного анализа извлечено 38 текстурных показателей пространственной гетерогенности визуализируемого образования. С применением статистического анализа по Т-критерию Стьюдента отобраны значимые показатели, средние значения которых достоверно отличались в сравниваемых группах ( $p < 0,05$ ). При сравнении групп доброкачественных и злокачественных опухолей головы и шеи значимые различия выявлены по 19 текстурным показателям, группы с местно-ограниченными опухолями (стадии T1–2) отличались от местно-распространенных (стадии T3–4) по 10 показателям, а высококодифференцированный рак (G1) значительно отличался от умеренно-, низко- и недифференцированного рака (G2, G3, G4) по 12 показателям.

Для нахождения единого показателя, интегрально отражающего внутриопухолевую гетерогенность, проведен регрессионный анализ значимых текстурных показателей с построением логистических моделей, в которых независимыми переменными являлись в соответствии с заданным ограничением ассоциации из четырех текстурных показателей, выбранных при машинной обработке данных. Модель дискриминации злокачественных опухолей головы и шеи от доброкачественных описывалась следующим уравнением:

$$\begin{aligned} \text{Значение регрессии} &= 131,0 = \\ &= 13,9 \times \text{NGCDM\_Conrast-1,12} \times \\ &\times \text{GLZLM\_LZHGE-1,61} \times \text{GLRLM\_SRHGE-73,5} \times \\ &\times \text{GLZLM\_ZP.} \end{aligned}$$

Вычисленные из модели значения регрессии путем логит-преобразования нормализовались в диапазоне от 0 до 1 и использовались как текстурные индексы вероятности.

Подобные логистические модели построены и для дискриминации местно-распространенных стадий рака (Т3–4) от местно-ограниченных (Т1–2), а также для дискриминации умеренно-, низко- и недифференцированных (G2, G3, G4) степеней рака от высокодифференцированного (G1) рака головы и шеи, но текстурные показатели,

являвшиеся независимыми предикторами логистических моделей, в каждой модели отличались (табл. 1).

Представленные в таблице данные свидетельствовали о значимой предсказательной ценности логистических текстурных моделей. Наглядно демонстрировались дискриминационные возможности созданных логистических моделей ROC-кривыми текстурного индекса вероятности, являющегося производным уравнений регрессии моделей (рис. 1).

Таблица 1

**Результаты ROC-анализа текстурных индексов вероятности логистических текстурных моделей дискриминации опухолей головы и шеи по данным текстурного анализа компьютерно-томографических изображений**

Table 1

**Results of ROC analysis of textural indices of probability of logistic texture differentiation models for head and neck tumors based on computed tomography texture analysis data**

Параметр / Parameter	Модель дискриминации / Model for differentiation		
	30 от Д0 / MT from BT (n = 118)	Стадий Т3–4 от Т1–2 / T3–4 from T1–2 (n = 81)	Степеней G2, G3, G4 от G1 / G2, G3, G4 from G1 (n = 28)
AUC, M ± m	0,854 ± 0,035*	0,840 ± 0,049*	0,826 ± 0,085*
95% доверительный интервал / 95% confidence interval	0,777–0,912	0,741–0,912	0,636–0,942
Чувствительность, % / Sensitivity, %	81,5	80,0	61,5
Специфичность, % / Specificity, %	75,7	76,2	100,0
Точность, % / Accuracy, %	78,0	76,5	78,6
Оптимальный уровень порога / Optimal threshold level	0,640	0,720	0,534
Независимые предикторы модели / Independent model predictors	NGLDM_Contrast GLZLM_LZHGE GLRLM_SRHGE GLZLM_ZP	GLCM_Entropy_log10 GLRLM_RLNU GLZLM_HGZE GLCM_Energy	GLCM_Entropy_log2 NGLDM_Coarseness NGLDM_Business GLRLM_GLNU

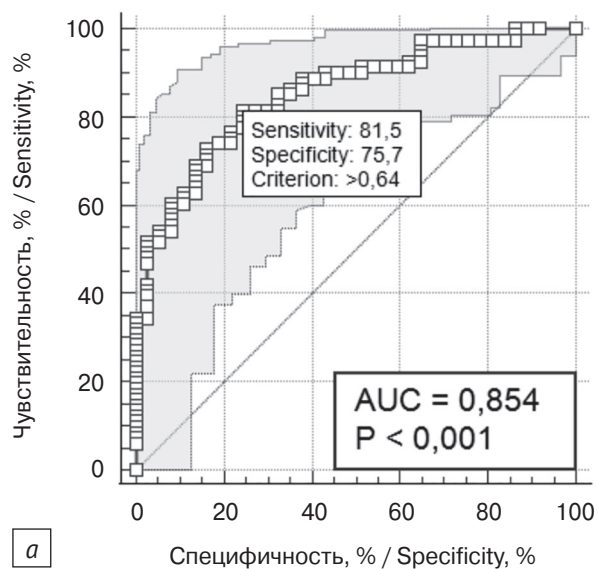
**Примечание.** 30 – злокачественная опухоль; Д0 – доброкачественная опухоль; Т1–2 – местно-ограниченные стадии рака; Т3–4 – местно-распространенные стадии рака; G1 – высокодифференцированная степень рака; G2, G3, G4 – умеренно-, низко- и недифференцированные степени рака; AUC – площадь под ROC-кривой; NGLDM\_Contrast – различие контрастности соседних серых уровней; GLZLM\_LZHGE – выделение протяженных зон высоких серых уровней; GLZLM\_SRHGE – выделение коротких отрезков высоких серых уровней; GLZLM\_ZP – процентаж зон серых уровней; GLCM\_Entropy\_log10 – десятичный логарифм показателя беспорядочности серых уровней; GLRLM\_RLNU – неравномерность протяженности отрезков серых уровней; GLZLM\_HGZE – выделение зон высоких серых уровней; GLCM\_Energy – однородность распределения пар серых уровней; GLCM\_Entropy\_log2 – натуральный логарифм показателя беспорядочности пар серых уровней; NGLDM\_Coarseness – грубость различий соседних серых уровней; NGLDM\_Business – пространственное изменение частоты интенсивности серых уровней; GLZLM\_GLNU – гетерогенность серых уровней.

\* p < 0,001.

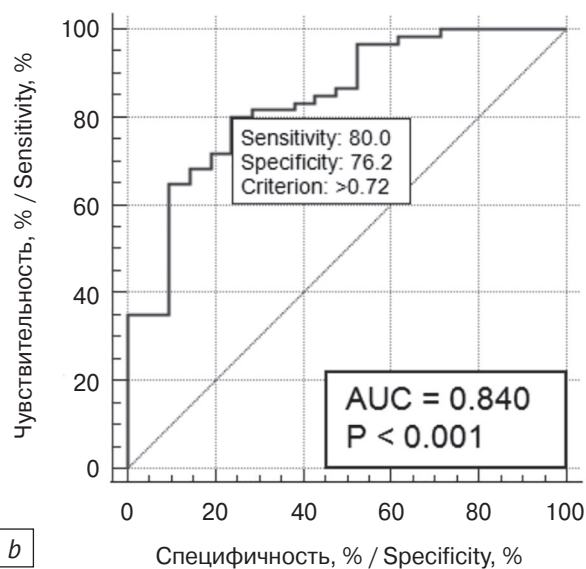
**Note.** MT – malignant tumor; BT – benign tumor; T1–2 – locally restricted tumors; T3–4 – locally spread tumors; G1 – well-differentiated cancer; G2, G3, G4 – moderately, poorly and undifferentiated cancer; AUC – area under curve; NGLDM\_Contrast – contrast difference of neighboring gray levels; GLZLM\_LZHGE – selection of long zones of high gray levels; GLZLM\_SRHGE – selection of short zones of high gray levels; GLZLM\_ZP – percentage of gray level zones; GLCM\_Entropy\_log10 – decimal logarithm of gray level randomness index; GLRLM\_RLNU – non-uniformity of gray level segments length; GLZLM\_HGZE – detection of high gray level zones; GLCM\_Energy – uniformity of gray level pair distribution; GLCM\_Entropy\_log2 – natural logarithm of gray level pair randomness index; NGLDM\_Coarseness – coarseness of neighboring gray level differences; NGLDM\_Business – spatial frequency of changes in intensity gray level; GLZLM\_GLNU – gray level heterogeneity.

\* p < 0,001.

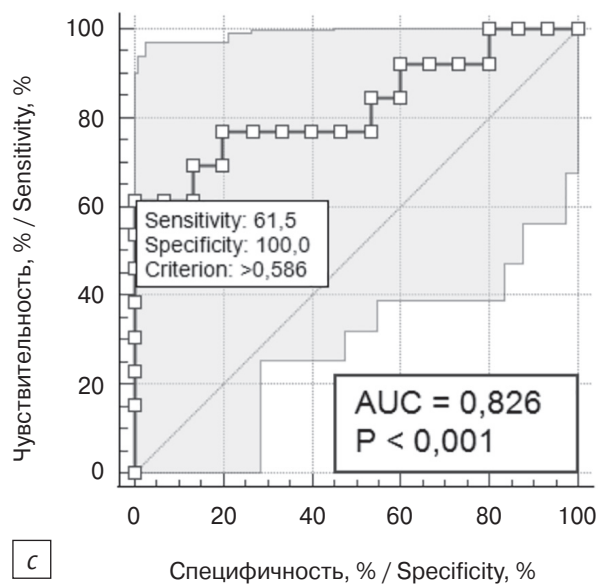




a



b



c

Рис. 1. ROC-кривые индексов логистических моделей дискриминации опухолей головы и шеи по данным текстурного анализа компьютерно-томографических изображений:

*a* – дискриминация злокачественных опухолей от доброкачественных; *b* – дискриминация местно-ограниченных стадий опухолей от местно-распространенных; *c* – дискриминация умеренно, низко- и недифференцированного рака от высокодифференцированного

Fig. 1. ROC-curves of indices of logistic models of head and neck tumor differentiation according to computed tomography texture analysis data:

*a* – differentiation of malignant tumors from benign tumors; *b* – differentiation of locally limited tumor stages from locally spread stages; *c* – differentiation of moderately, poorly and undifferentiated cancer from well-differentiated

Одной из практически важных особенностей ROC-анализа является возможность нахождения точки порогового значения предиктора, которая служит ориентиром для классификации исследуемых состояний. Оптимальным порогом для отнесения визуализируемого на КТ образования к классу доброкачественных или злокачественных опухолей головы и шеи являлась в нашем исследовании величина текстурного индекса вероятности модели, равная 0,64 (см. табл. 1 и рис. 1, *a*). Значения текстурного индекса вероятности ниже указанного порога были характерны для доброкачественных опухолей, тогда как при злокачественных преобладали высокие его значения, превышающие пороговую величину. Подтверждением могут служить примеры КТ-исследований с текстурным анализом из числа обследованных нами больных с опухолями головы и шеи.

На рисунке 2 представлены КТ-сканы больной с плоскоклеточным раком гортани. На нативном КТ-изображении (рис. 2, *a*) видно образование неправильной формы в области голосовых связок с вовлечением передней комиссуры, инфильтрирующее парагортанную клетчатку слева с разрушением пластинок щитовидного хряща и экстрагортанным распространением в мягкие ткани. Гистограмма текстуры образования отличалась выраженной асимметрией и сильной неровностью краев (рис. 2, *b*). Текстурный индекс в данном случае составил 0,875, намного превысив пороговую величину.

В другом наблюдении у больной с доброкачественной опухолью слюнной железы текстурный индекс вероятности был значительно ниже порога и составил 0,234. На КТ-изображениях у пациентки визуализировалось овальной формы одно-

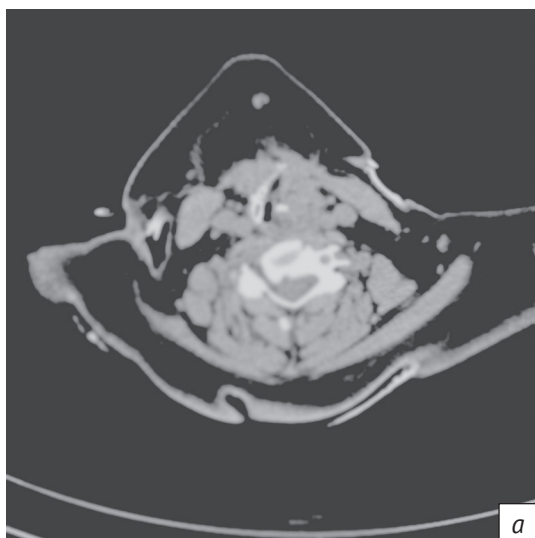


Рис. 2. Аксиальные КТ-изображения гистологически подтвержденного плоскоклеточного рака гортани T4aN0M0: *a* – нативное изображение; *b* – гистограмма распределения вокселей

Fig. 2. Axial CT-images of histologically confirmed T4aN0M0 squamous cell laryngeal cancer: *a* – native image; *b* – histogram of gray level voxel distribution

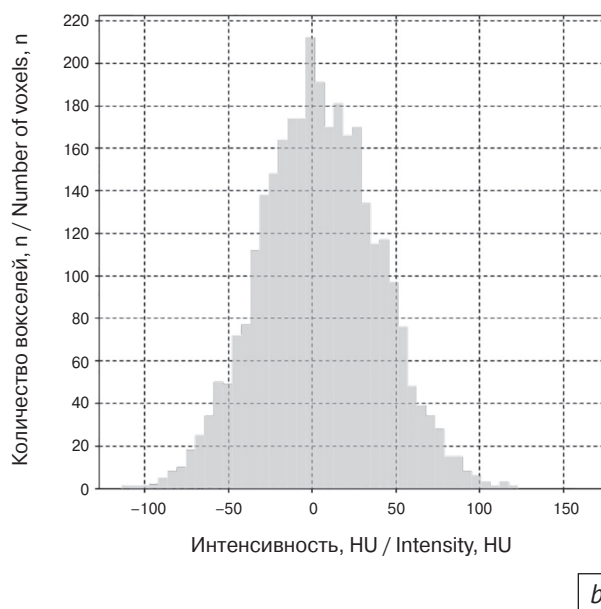


Рис. 3. Аксиальные КТ-изображения гистологически подтвержденной плеоморфной аденомы левой околоушной слюнной железы: *a* – нативное изображение; *b* – гистограмма распределения вокселей серых уровней

Fig. 3. Axial CT images of histologically confirmed pleomorphic adenoma of the left parotid salivary gland: *a* – native image; *b* – histogram of gray level voxel distribution

родное образование в левой околоушной железе (рис. 3, *a*), а гистограмма показывала симметричность и сглаженность краев (рис. 3, *b*).

Все четыре текстурных показателя, вошедших в сконструированные логистические модели в виде ассоциации независимых предикторов, в отдельности обладали меньшей предсказательной спо-

собностью, чем получаемый из модели текстурный индекс вероятности (табл. 2). Из представленных в таблице данных видно, что показатели ROC-кривых текстурных предикторов, на ассоциативной связи которых построена модель логистической регрессии, были ниже, чем у ROC-кривой текстурного индекса вероятности.

**Прогностическая значимость текстурных индексов модели дифференциации доброкачественных и злокачественных опухолей головы и шеи в сравнении с текстурным индексом вероятности**

Table 2

**Prognostic relevance of textural indices of the differentiation model for benign and malignant head and neck tumors compared to probability textural index**

Параметр / Parameter	Независимые предикторы модели / Independent model predictors				Текстурный индекс вероятности / Probability textural index
	NGLDM_Contrast	GLRLM_SRHGE	GLZLM_LZHGE	GLZLM_ZP	
AUC, M±m	0,780 ± 0,044*	0,701 ± 0,057*	0,678 ± 0,052*	0,672 ± 0,053*	0,854 ± 0,035*
Чувствительность, % / Sensitivity, %	48,2	91,4	49,4	48,2	81,5
Специфичность, % / Specificity, %	94,6	51,4	89,2	89,2	75,7
Точность, % / Accuracy, %	62,7	78,8	61,9	61,9	79,7

\* p < 0,001.

Традиционный подход к дифференциации опухолей по визуализируемым классическим признакам злокачественности, таким как неправильная форма, нечеткость (неопределяемость) контуров, инвазия в смежные структуры, позволили нам правильно предсказать злокачественную природу образований в 76,5% случаев. Этот результат незначительно уступает соответствующему показателю по данным КТТА (81,5% случаев). Но следует учесть, что при КТТА исключается возможное влияние субъективного фактора, связанного с профессиональным опытом и квалификацией радиолога, анализирующего изображение.

Стадирование местной и региональной распространенности опухолей головы и шеи по анатомическим КТ-признакам с использованием мобильного приложения TNM Cancer Staging App показало правильность стадирования T- и N-стадий опухоли в 76,5% и 70,4% случаев соответственно. Выявлена корреляция между радиологической и клинической T-стадиями ( $r = 0,77$ ;  $p < 0,001$ ) и N-стадиями ( $r = 0,70$ ;  $p < 0,001$ ).

### Обсуждение

Дооперационное определение доброкачественной или злокачественной природы опухолей с локализацией в области головы и шеи нередко затруднено. Из-за анатомической сложности региона локализации опухоли пункционная биопсия не всегда возможна и не всегда результативна, к тому же является инвазивной процедурой.

Значительную помощь в дифференциальной диагностике и стадировании опухолей головы и шеи оказывают методы томографической визуализации, в частности КТ. Однако визуализируемые на КТ-изображениях классические признаки злока-

чественности или доброкачественности могут нередко перекрываться, затрудняя предсказание вероятностной природы образования. В этих случаях может оказаться полезным КТТА, позволяющий количественно оценить внутриопухолевую гетерогенность, которая значительно возрастает при злокачественных опухолях. Наше исследование показало возможность использования количественного индекса текстурной неоднородности для дифференциации доброкачественных и злокачественных опухолей головы и шеи, подтвердив результаты недавних исследований по применению текстурного анализа для указанной цели [10, 11]. Но показания к текстурному анализу могут быть значительно расширены. Это стратификация высокодифференцированного рака от низкодифференцированного, предсказание молекулярно-генетического статуса образования, прогнозирование отклика опухоли на лечение, улучшение контроля за его результатами и др. [12–16].

Исследования подобной направленности еще малочисленны, выполнены с применением различных методик КТТА на этапах извлечения текстурных показателей, их последующей статистической обработки с целью селекции наиболее значимых признаков и определения критериев классификации различных характеристик опухолей по отобранным текстурным признакам. Одни исследователи ограничиваются использованием отдельных показателей гистограммы или матрицы встречаемости серых уровней, другие предпочитают построение логистических текстурных моделей с применением показателей матриц серых уровней и высшего порядка [17, 18]. То же можно сказать и о применяемых математических программах извлечения текстурных показателей из изображений, их селек-

ции с целью уменьшения пространства текстурных признаков и т.д.

Отсутствие единых подходов к текстурному анализу является главным фактором, сдерживающим внедрение в практику этой технологии обработки медицинских изображений. Актуальным представляется объединение усилий по стандартизации методики КТТА, расширению исследований по изучению воспроизводимости результатов. Прогрессирующий рост публикаций по рассматриваемой проблеме обнадеживает и позволяет предполагать, что текстурный анализ медицинских изображений станет одной из востребованных технологий.

## Заключение

Текстурный анализ КТ-изображений позволяет неинвазивно предсказать доброкачественную или злокачественную природу и другие характеристики визуализируемой опухоли в области головы и шеи. Наибольшей прогностической точностью обладает индекс вероятности, вычисляемый из логистической текстурной модели. КТТА трансформирует стандартную компьютерную томографию в мультипараметрическое исследование, дополняя качественную оценку анатомических деталей визуализируемого образования количественными функциональными показателями, характеризующими внутриопухолевую пространственную гетерогенность.

## Литература [References]

- Petralia G, Bonello L, Viotti S, et al. CT perfusion in oncology: how to do it. *Cancer Imaging*. 2010; 10(1): 8–19. <https://doi.org/10.1102/1470-7330.2010.0001>.
- Силантьева Н.К., Петросян А.П., Агабабян Т.А., Шавладзе З.Н. Динамическая и перфузионная компьютерная томография при одиночных очагах в легких. *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена*. 2017; 6(6): 55–61. <https://doi.org/10.17116/onkolog20176655-61>. [Silant'eva NK, Petrosian AP, Agababian TA, Shavladze ZN. Dynamic and perfusion computed tomography for solitary lung foci. *P.A. Herzen Journal of Oncology*. 2017; 6(6): 55–61 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/onkolog20176655-61>.]
- Masume N, Maryam M, Kayvan A, et al. Perfusion computed tomography scan imaging in differentiation of benign from malignant parotid lesions. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2020; 24(2): e160–9. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1697005>.
- Lubner MG, Smith AD, Sandrasegaran K, et al. CT texture analysis: definitions, applications, biologic correlates, and challenges. *Radiographics*. 2017; 37(5): 1483–503. <https://doi.org/10.1148/rg.2017170056>.
- Чехун В.Ф., Шербан С.Д., Савцова З.Д. Гетерогенность опухоли – динамичное состояние. *Онкология*. 2012; 14(1): 4–12. [Chekhun VF, Sherban SD, Savtsova ZD. Tumor heterogeneity – a dynamic state. *Oncology*. 2012; 14(1): 4–12 (in Russ).]
- Герашченко Т.С., Денисов Е.В., Литвяков Н.В. и др. Внутриопухолевая гетерогенность: природа и биологическое значение. *Биохимия*. 2013; 78(11): 1531–49. [Gerashchenko TS, Denisov EV, Litviakov NV, et al. Intratumor heterogeneity: nature and biological significance. *Biokhimiya*. 2013; 78(11): 1531–49 (in Russ).]
- Lin G, Keshari KR, Park JM. Cancer metabolism and tumor heterogeneity: imaging perspectives using MR imaging and spectroscopy. *Contrast Media Mol Imaging*. 2017; 2017: 6053879. <https://doi.org/10.1155/2017/6053879>.
- Nioche C, Orhac F, Boughdad S, et al. LIFEx: a freeware for radiomic feature calculation in multimodality imaging to accelerate advances in the characterization of tumor heterogeneity. *Cancer Res*. 2018; 78(16): 4786–9. <https://doi.org/10.1158/0008-5472.CAN-18-0125>.
- Nailon WH. Texture analysis methods for medical image characterisation. In: Mao Y (Ed). *Biomedical imaging*. London: IntechOpen; 2010. <https://doi.org/10.5772/8912>.
- Romeo V, Cuocolo R, Ricciardi C, et al. Prediction of tumor grade and nodal status in oropharyngeal and oral cavity squamous-cell carcinoma using a radiomic approach. *Anticancer Res*. 2020; 40: 271–80. <https://doi.org/10.21873/anticancer.13949>.
- Bogowicz M, Riesterer O, Ikenberg K, et al. Computed tomography radiomics predicts HPV status and local tumor control after definitive radiochemotherapy in head and neck squamous cell carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2017; 99(4): 921–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2017.06.002>.
- Kuno H, Qureshi MM, Chapman MN, et al. CT texture analysis potentially predicts local failure in head and neck squamous cell carcinoma treated with chemoradiotherapy. *Am J Neuroradiol*. 2017; 38(12): 2334–40. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5407>.
- Ger RB, Zhou S, Elgohari B, et al. Radiomics features of the primary tumor fail to improve prediction of overall survival in large cohorts of CT- and PET-imaged head and neck cancer patients. *PLoS One*. 2019; 14(9): e0222509. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222509>.
- Meyer HJ, Hamerla G, Höhn AK, Surov A. CT texture analysis-correlations with histopathology parameters in head and neck squamous cell carcinomas. *Front Oncol*. 2019; 9: 444. <https://doi.org/10.3389/fonc.2019.00444>.
- Ren J, Qi M, Yuan Y, et al. Machine learning-based MRI texture analysis to predict the histologic grade of oral squamous cell carcinoma. *AJR Am J Roentgenol*. 2020; 215(5): 1184–90. <https://doi.org/10.2214/AJR.19.22593>.
- Zhang Y, Chen C, Tian Z, et al. The diagnostic value of MRI-based texture analysis in discrimination of tumors located in posterior fossa: a preliminary study. *Front Neurosci* Vol. 2019; 13: 1113. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01113>.