

УДК 004.932.2

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕССТРУКТУРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПИГМЕНТНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ

© 2023 г. В. Г. Никитаев^а, *, А. Н. Проничев^а, О. Б. Тамразова^б, В. Ю. Сергеев^с, Ю. Ю. Сергеев^с,
А. О. Лим^а, В. С. Козлов^б

^аНациональный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, 115409 Россия

^бРоссийский университет дружбы народов (РУДН), Москва, 117198 Россия

^сЦентральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации,
Москва, 121359 Россия

*E-mail: VGNikitayev@mephi.ru

Поступила в редакцию 02.07.2022 г.

После доработки 02.07.2022 г.

Принята к публикации 11.07.2022 г.

В работе рассмотрена проблема ранней диагностики меланомы кожи по дерматоскопическим изображениям новообразований кожи. Предложена модель оценки диагностически значимых морфологических характеристик элементов новообразования – бесструктурных областей. Проведено экспериментальное исследование с целью определения адекватности модели. Выявлены наиболее информативные признаки для оценки морфологических характеристик. Наилучшая точность классификации (94%) достигнута для признака A_1 . Результаты исследования могут быть применены при разработке систем поддержки принятия врачебных решений при диагностике меланомы кожи.

Ключевые слова: распознавание, сегментация, цифровая обработка изображений, дерматоскопия, диагностика меланомы, онкологическая диагностика, компьютерное зрение

DOI: 10.56304/S2079562922030319

ВВЕДЕНИЕ

Меланома является редкой, но крайне агрессивной формой рака кожи: в 2020 г. в России доля заболеваемости меланомой составила 14% от всех злокачественных новообразований кожи; при этом более 70% смертей от данной группы рака приходится на меланому [1]. Кроме того, в России и в мире наблюдается рост заболеваемости меланомой кожи [2–4], поэтому в настоящее время существует острая потребность в повышении точности ранней диагностики меланомы. Достичь этого можно применением компьютерных технологий, в том числе технологий искусственного интеллекта, в диагностической практике [5–11]. Использование систем компьютерного зрения при диагностике позволит врачам автоматизировать выявление значимых признаков и повысить точность диагностического заключения.

Первичная диагностика меланомы кожи проводится с помощью диагностических алгоритмов [12–17]. Большую популярность в дерматологии приобрел алгоритм Киттлера “Хаос и признаки” [17]. Согласно ему, одним из значимых диагностических признаков является эксцен-

тричное (т.е. не в центре, а на периферии) расположение бесструктурной области на области новообразования (рис. 1). Описанный признак учитывается и в алгоритме Argenziano 7-point checklist [15].

Ниже рассмотрены исследования, посвященные автоматизированной оценке морфологических характеристик бесструктурных областей пигментных новообразований кожи.

В работе [18] для оценки расположения бесструктурной области использован параметр $E = D/\sqrt{A}$, где D – евклидово расстояние между центрами масс наибольшей бесструктурной области и новообразования, A – площадь новообразования. В качестве характеристики формы принят параметр $I = P_{\max}/\sqrt{B_{\max}}$, где P_{\max} – периметр наибольшей бесструктурной области, B_{\max} – площадь наибольшей бесструктурной области. Авторы [18] использовали описанные параметры для классификации новообразований на доброкачественное и меланому с помощью нейронных сетей. Оценка точности классификации бесструктурных областей по иным морфологическим признакам не производилась.

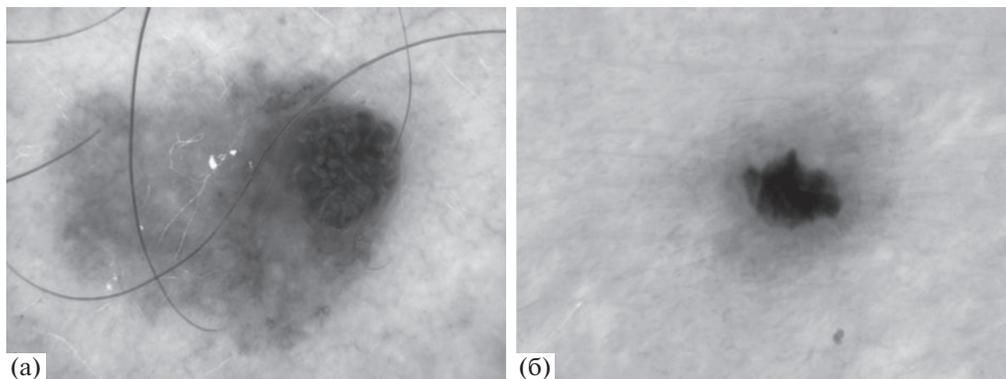


Рис. 1. Изображения новообразований кожи, содержащих бесструктурные области на периферии (эксцентрично) (злокачественное – меланома) и в центре (доброкачественное) – соответственно (а, б).



Рис. 2. Концептуальная модель оценки расположения бесструктурных областей.

В статье [19] предложен способ оценки риска меланомы у пациента, принимающий во внимание множество различных признаков. При этом, среди всевозможных морфологических характеристик бесструктурных областей, принималась во внимание только площадь.

Литературный обзор показал, что проблемы оценки морфологических характеристик бесструктурных областей и использования их в автоматизированной диагностике недостаточно освещены. На настоящий момент нет общепризнанной модели оценки эксцентричного или центрального положения бесструктурных областей.

Цель работы – разработка модели оценки морфологических характеристик бесструктурных областей на изображениях пигментных новообразований кожи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Предлагаемая концептуальная модель оценки характеристик бесструктурных областей показана на рис. 2.

Рассмотрим элементы модели.

Вход: исходное цифровое дерматоскопическое изображение

Исходные изображения, содержащие новообразования, получены с дерматоскопа РДС-2. Формат изображения 2560 × 1920, глубина кодирования 24 бит (по 8 бит на каждую из компонент R, G, B цветовой модели RGB). Масштаб изображения – 0.0052 мм/пиксель.

Примеры используемых изображений новообразований кожи, содержащих бесструктурные области, представлены на рис. 3.

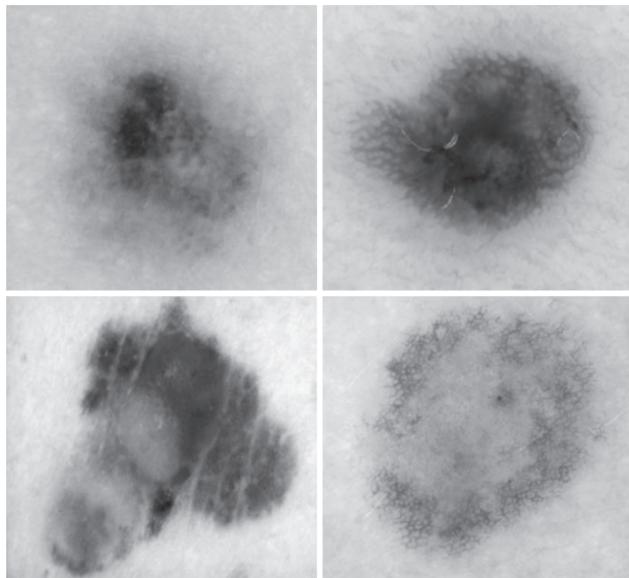


Рис. 3. Примеры используемых изображений новообразований кожи.

Распознавание области новообразования и бесструктурных областей

Распознавание новообразования является этапом определения области интереса изображения, в пределах которой будет производиться поиск бесструктурных областей. Данный этап необходим для уменьшения вычислительных затрат и предотвращения ложных выделений искомых элементов на области кожи (фона). Кроме того, распознавание области новообразования производится при обязательности измерения характеристик новообразования [20, 21].

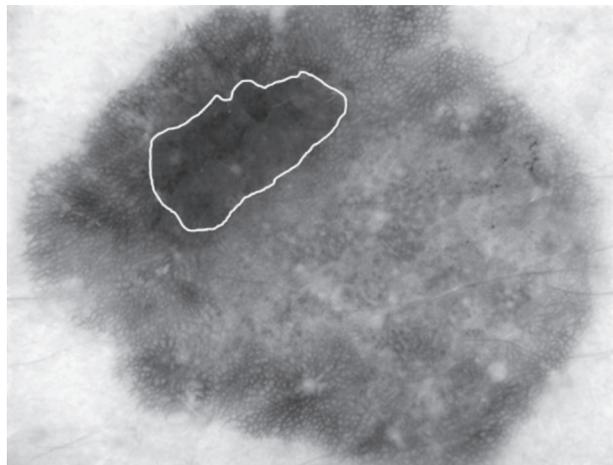


Рис. 4. Пример изображения новообразования кожи с выделенной бесструктурной областью.

Для измерения характеристик бесструктурных областей они были распознаны на исходных цифровых изображениях новообразований кожи (рис. 4). Методы обнаружения бесструктурных областей подробно рассмотрены в работах [22–24].

Измерение характеристик бесструктурных областей

Измеряемыми характеристиками для каждой из n бесструктурных областей являются евклидово расстояние r_n между центрами масс бесструктурной области n и новообразования, площадь S_n , площади $S_{n1}–S_{n4}$ четырех частей, на которые область делится двумя перпендикулярными прямыми

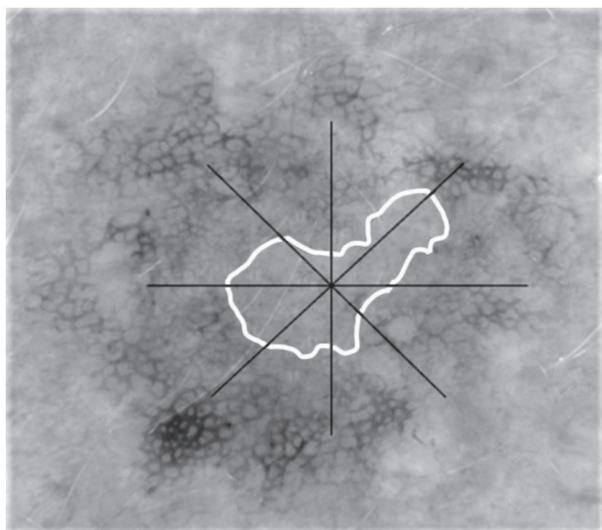


Рис. 5. Пример деления бесструктурной области на сегменты.

Таблица 1. Классификация бесструктурных областей по геометрическому расположению

Признак	Пороговое значение признака	Точность классификации
A_1	0.232	94%
A_2	2.2	83%
A_3	0.6	78%
A_4	0.8	52%
A_5	0.23	83%
$E[18]$	0.142	91%

ми, проходящими через центр масс новообразования; коэффициент асимметрии K . Площадь бесструктурной области рассчитывается как количество принадлежащих ей пикселей. Для вычисления характеристики K через центр масс бесструктурной области проводятся ее оси инерции, которые дополняются еще двумя прямыми линиями, проведенными под углами в 45° по отношению к осям инерции соответственно (рис. 5).

Относительно каждой прямой k проводится зеркальное отражение части бесструктурной области с последующим вычислением количества “совпавших” M_k пикселей правой и левой частей. Прямая, для которой величина M_k принимает наибольшее значение (т.е. наблюдается наибольшее количество совпавших пикселей), считается линией симметрии. Коэффициент K вычисляется как $M_{k_{\max}}/S$, где S – площадь рассматриваемой бесструктурной области.

Расчет признаков эксцентричного расположения и асимметрии формы бесструктурных областей

Подбор признаков произведен исходя из анализа морфологических (расположения и формы) характеристик бесструктурных областей.

Признак A_1 прямо пропорционален величине r и учитывает размер новообразования, выраженный через среднее расстояние \bar{R} между центром масс новообразования и пикселями его границы:

$$A_1 = \frac{r}{\bar{R}}.$$

Значение признака A_2 изменяется в диапазоне [1, 4], где 1 соответствует расположению бесструктурной области в центре новообразования:

$$A_2 = \frac{4S_{\max}}{S},$$

где S_{\max} – максимальная из площадей $S_{n1}-S_{n4}$ области n .

Признак A_3 принимает наименьшее значение, равное нулю, при центральном расположении бесструктурной области. Чем больше величина A_3 , тем более эксцентрично положение рассматриваемой области:

$$A_3 = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{S},$$

где S_{\min} – минимальная из площадей $S_{n1}-S_{n4}$ области n .

Признак A_4 минимален при наибольшей степени эксцентричности расположения бесструктурной области:

$$A_4 = \frac{S_{\min}}{S_{\max}}.$$

Признак A_5 учитывает среднеквадратическое отклонение площадей $S_{n1}-S_{n4}$ от их среднего значения:

$$A_5 = \frac{\sigma_S}{S}.$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕССТРУКТУРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Целью эксперимента являлась проверка адекватности предложенной модели. В качестве исходных данных использовались 40 предоставленных Российским обществом дерматоскопии изображений новообразований кожи. Изображения были разделены на группы с центральным и периферическим расположением бесструктурных областей, а также по признаку симметрии формы этих областей.

Методика эксперимента включала следующие этапы:

- выделение бесструктурных областей на изображениях;
- измерение характеристик бесструктурных областей для каждого изображения;
- расчет признаков эксцентричного расположения и асимметрии формы бесструктурных областей;
- вычисление пороговых значений признаков, наилучшим образом разделяющих группы изображений.

Путем сравнения результатов автоматической и экспертной (врачебной) классификации новообразований кожи оценивалась адекватность предложенной модели. Оценка точности классификации проводилась согласно формуле:

$$\text{Точность} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}.$$

Здесь TP – количество истинно положительных результатов классификации, TN – количество истинно отрицательных результатов классификации, FP – количество ложноположительных результатов классификации, FN – количество ложноотрицательных результатов классификации.

Для проведения эксперимента написана компьютерная программа на языке программирования C++ в среде разработки Qt.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

При классификации бесструктурных областей по геометрическому расположению (в центре/на периферии) наибольшую точность демонстрирует признак A_1 (94%) (табл. 1). Признак A_4 показал самую низкую точность классификации – 52%. Таким образом, признак A_4 наименее информативен.

Проведено сравнение результатов классификации по предложенным признакам с результатами классификации по признаку E из работы [18]. Признак A_1 , показавший наилучшие результаты классификации, превосходит аналогичные результаты по признаку E .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной работы была разработка модели оценки морфологических характеристик бесструктурных областей на изображениях пигментных новообразований кожи. В результате литературного обзора был сделан вывод о недостаточной освещенности темы морфологических характеристик в актуальных работах. Разработана модель оценки морфологических признаков, на основании которой предложено пять морфологических признаков, позволяющих оценить эксцентricность и симметрию бесструктурных областей. Проведен эксперимент, подтвердивший способность признаков адекватно разделять новообразования по эксцентricности и симметрии бесструктурных областей. В результате эксперимента сделан вывод, что признаки A_1 , A_2 , A_3 и A_5 адекватно разделяют изображения, а признак A_4 недостаточно информативен. Проведено сравнение предложенных в данной работе признаков с признаком E из работы [18]. Показано, что признак A_1 более информативен при оценке эксцентricности бесструктурных областей.

Результаты работы могут быть использованы при создании систем диагностики меланомы. Предложенные признаки, в совокупности с другими признаками как бесструктурных областей, так и иных структур, могут быть применены при создании классификаторов, позволяющих обнаруживать злокачественные новообразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. *Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадов А.О.* Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году. 2022. Москва: МНИОИ им. П.А. Герцена (ф. ФГБУ НМИЦ радиологии МЗ РФ).
2. *Yang D.D., Saliccioli J.D., Marshall D.C., et al.* // *Brit. J. Dermatol.* 2020. V. 183 (6). P. 1056.
3. *Erkenova F.D., Puzin S.N.* // *Med. Soc. Expert Eval. Rehabil.* 2020. V. 23 (1). P. 44.
4. *Potekaev N.N., Titov K.S., Markin A.A., et al.* // *Klin. Dermatol. Venerol.* 2020. V. 19 (6). P. 810.
5. *Nikitaev V.G.* // *Meas. Tech.* 2015. V. 58 (6). P. 719.
6. *Nikitaev V.G.* // *Meas. Tech.* 2015. V. 58 (4). P. 68.
7. *Nikitaev V.G.* // *Meas. Tech.* 2015. V. 58 (2). P. 214.
8. *Nasir M., Khan M.A., Sharif M., et al.* // *Curr. Med. Imaging.* 2020. V. 16 (7). P. 794.
9. *Prilipsky R.E., Zaeva M.A.* // *Proc. Comput. Sci.* 2020. V. 169. P. 96.
10. *Selchuk V.Y., Rodionova O.V., Sukhova O.G., et al.* // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2017. V. 798 (1). P. 012137.
11. *Kulik S.D., Shtanko A.N.* // *Proc. Comput. Sci.* 2020. V. 169. P. 164.
12. *Малишевская Н.П., Соколова А.В., Торопова Н.П.* Рекомендации по проведению дерматоскопии новообразований кожи, протокол дерматоскопического исследования: учебное пособие для врачей. 2018. Екатеринбург: СВ – 96.
13. *Zhuchkov M.V., Bolshakova E.E., Sonin D.B., et al.* // *Cons. Med.* 2019. V. 21 (12.2). P. 14.
14. *Эберт М.А., Гафтон Г.И., Зиновьев Г.В., Гафтон И.Г.* // *Вопросы онкологии.* 2019. Т. 65 (5). С. 638.
15. *Argenziano G., Catricalà C., Ardigo M., et al.* // *Brit. J. Dermatol.* 2011. V. 164 (4). P. 785.
16. *Menzies S.W., Moloney F.J., Byth K., et al.* // *JAMA Dermatol.* 2013. V. 149 (6). P. 699.
17. *Zhuchkov M.V., Bulinska A.K., Kittler H.* // *Dermatology.* 2017. V. 2. P. 5.
18. *Stoecker W.V., Gupta K., Stanley R.J., et al.* // *Res. Technol.* 2005. V. 11 (3). P. 179.
19. *Zenone M., Zocchi L., Moccia C., et al.* // *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 2022. V. 36 (3). P. 391.
20. *Никитаев В.Г. и др.* // *Матем. моделирование.* 2021. Т. 33 (10). С. 83.
21. *Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Tamrazova O.B., et al.* // *Meas. Tech.* 2021. V. 64. P. 778.
22. *Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Tamrazova O.B., et al.* // *Instruments.* 2021. V. 8. P. 38.
23. *Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Tamrazova O.B., et al.* // *Instruments.* 2021. V. 10. P. 41.
24. *Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Tamrazova O.B., et al.* // *Biomed Eng.* 2022. V. 55. P. 346.

Model for Estimating the Morphological Characteristics of Structureless Areas of Pigmented Skin Neoplasms

V. G. Nikitaev¹, *, A. N. Pronichev¹, O. B. Tamrazova², V. Yu. Sergeev³, Yu. Yu. Sergeev³,
A. O. Lim¹, and V. S. Kozlov¹

¹National Research Nuclear University MPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409 Russia

²Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, 117198 Russia

³Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow, 121359 Russia

*e-mail: VGNikitayev@mephi.ru

Received July 2, 2022; revised July 2, 2022; accepted July 11, 2022

Abstract—The paper considers the problem of early diagnosis of skin melanoma by dermatoscopic images of skin neoplasms. A model for assessing the diagnostically significant morphological characteristics of neoplasm elements – structureless areas is proposed. An experimental study was conducted to determine the adequacy of the model. The most informative signs for the assessment of morphological characteristics have been identified. The best classification accuracy (94%) was achieved for feature A1. The results of the study can be applied in the development of medical decision support systems for the diagnosis of skin melanoma.

Keywords: recognition, segmentation, digital image processing, dermatoscopy, diagnosis of melanoma, oncological diagnostics, computer vision