

УДК 004.932.2

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ АСИММЕТРИИ ПИГМЕНТНОГО НОВООБРАЗОВАНИЯ

© 2023 г. Т. П. Занегина^а, В. Г. Никитаев^{а, *}, А. Н. Проничев^а, М. А. Соломатин^а, А. Е. Воронин^а,
И. В. Архангельская^а, А. В. Сошнина^а, А. И. Петухова^а, П. Ю. Багнова^а, О. Б. Тамразова^б,
В. Ю. Сергеев^с, Ю. Ю. Сергеев^с

^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 представлены результаты разработки наглядного способа распознавания новообразований кожи на основе модели оценки асимметрии формы пигментного участка патологического разрастания эпидермиса и (или) дермы. В качестве исходных данных рассматривались изображения пигментных новообразований кожи, полученные с помощью дерматоскопа. Для анализа изображений применялась модель расчета коэффициентов асимметрии формы, полученных относительно главных осей инерции новообразования, что позволяет получать независимые от угла поворота изображений значения.

Ключевые слова: меланома, новообразования кожи, цифровые изображения, обработка изображений, центр масс, асимметрия

DOI: 10.56304/S2079562922030587

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость ранней диагностики злокачественной меланомы кожи обусловлена тем, что, составляя структурно не более 13% от всех форм рака кожи, меланома ответственна за более чем 70% летальных исходов, приходящихся на эту группу опухолей [1].

Выявление меланомы производится с помощью клинических алгоритмов, таких как ABCD, алгоритм Мензиса, Китлера и т.д. — см., например [2, 3]. Такие алгоритмы позволяют дифференцировать новообразования на меланоцитарные и немеланоцитарные, а также на злокачественные и доброкачественные [2]. Одним из наиболее известных клинических алгоритмов диагностики меланомы является правило ABCD, где А — асимметрия новообразования, В — неровность границ, С — неравномерность окраски, D — диаметр более 6 мм [3]. Признак асимметрии формы является важнейшим в алгоритме ABCD, поскольку имеет наибольший вес при расчете так называемого итогового дерматологического счета [4].

Оценка асимметрии новообразований может производиться с помощью методов искусствен-

ного интеллекта [5–8]. Авторы статей рассматривают асимметрию с использованием процедур распознавания образов на основе гистограммного метода. Эксперимент базируется на использовании и внедрении интеллектуальных информационно-измерительных систем для гистологической диагностики онкологических заболеваний.

Ниже рассмотрены работы, посвященные автоматизированной оценке асимметрии формы.

Авторы [9] оценивали асимметрию по изображению новообразования путем вычисления отношения двух значений площадей. Первое значение равняется площади не совпадающих областей новообразования и “наилучшего” эллипса, проведенного по осям инерции анализируемой области предложенным авторами способом. Второе значение равняется площади новообразования по данному признаку включал небольшую выборку из 36 изображений и имеет AUC = 0.64.

В работе [10] оценка асимметрии производится путем сравнения площадей областей новообразования, разделенных осями инерции. В случае различия площадей исследуемых областей более

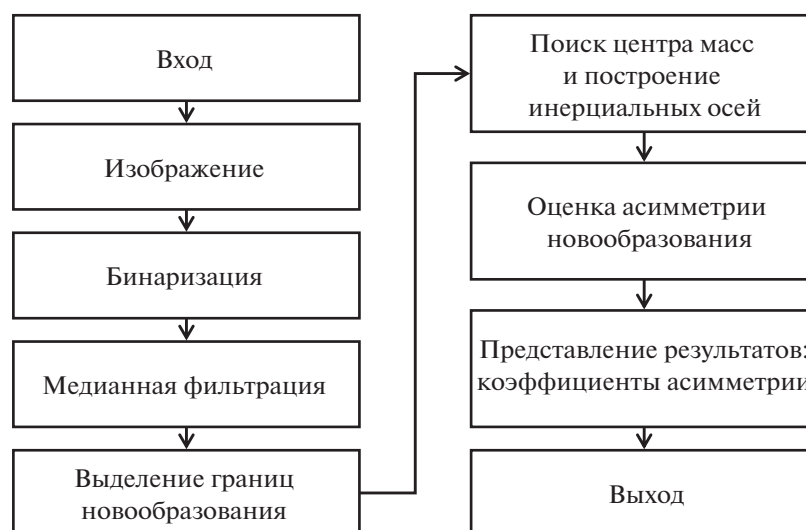


Рис. 1. Концептуальная модель расчета коэффициента асимметрии.

чем на 2%, новообразование считается асимметричным относительно выбранной оси. Поскольку данный подход оперирует такой интегральной характеристикой как площадь, он не учитывает всех особенностей формы областей. Также в результате применения подхода не дается числовая оценка асимметрии, только общее суждение о симметричности или несимметричности новообразования.

В статье [11] авторы предложили три подхода к оценке асимметрии. Первый из них предполагает разбиение изображения на две половины относительно центра масс по вертикали и горизонтали. Для обеих половин каждой пары рассчитывается вектор из 128 инвариантных вращению, сдвигу и растяжению признаков формы, после чего вычисляется евклидово расстояние между векторами, которое служит показателем асимметрии относительно оси. Вторым подходом предполагается вычисление корреляции гистограмм вертикальной и горизонтальной проекции бинарной маски изображения. В случае симметричного новообразования корреляция равняется единице. Третий подход предполагает расчет коэффициента асимметрии с помощью моментов третьего порядка и дисперсии гистограмм вертикальной и горизонтальной проекций бинарной маски изображения. Авторами был произведен эксперимент по предсказанию асимметричности новообразования с использованием представленных признаков и дерева решений. Все три подхода не предполагают однозначного определения осей, относительно которых производится расчет коэффициентов асимметрии. При этом эксперимент, проведенный авторами, оценивал способность предсказать асимметричность, определяемую врачами, но не позволяет судить о возможности разделять

классы злокачественных и доброкачественных новообразований при помощи полученных коэффициентов.

В результате обзора выявлена общая для существующих работ проблема недостаточной проверки возможности предсказывать злокачественность исследуемого новообразования при помощи коэффициентов асимметрии формы, рассчитанных в рамках той или иной модели, а также низкую чувствительность существующих подходов к учету особенностей формы границ новообразований ввиду частого оперирования такой интегральной характеристикой, как площадь сравниваемых областей.

Целью данного исследования являлась разработка метода оценки асимметрии, который учитывает мелкие особенности границы новообразования, и проверка возможности обнаруживать с его помощью злокачественные пигментные новообразования кожи.

1. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной работе предлагается модель расчета коэффициента асимметрии, позволяющая получать не зависящие от поворота изображений значения, рассчитанные относительно главных осей инерции новообразования. Концептуальная модель представленного подхода изображена на рис. 1.

ИСХОДНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

Получено с цифрового дерматоскопа РДС-2 и содержит область новообразования кожи, которая исследуется на предмет наличия меланомы. Формат изображения 2560 × 1920, глубина коди-

рования 24 бит (по 8 бит на каждую из компонент R, G, B цветовой модели RGB). Масштаб изображения – 0.0052 мм/пиксель.

БИНАРИЗАЦИЯ

Область новообразования выделяется с помощью бинаризации с постоянным порогом. Для этого на основе исходного цветного изображения формируется полутоновое по формуле (1):

$$I = 0.3R + 0.5G + 0.2B, \quad (1)$$

где I – интенсивность пикселя полутонового изображения, R, G, B – компоненты цвета пикселя цветного изображения в цветовой модели RGB.

Выделение области новообразования производится путем бинаризации по формуле (2):

$$J(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } I(x, y) > T \\ 0, & \text{если } I(x, y) \leq T, \end{cases} \quad (2)$$

где $I(x, y)$ – входное изображение, $J(x, y)$ – бинаризованное изображение, x и y – координаты пикселей, T – порог бинаризации.

МЕДИАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ И ВЫДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ

Бинарная маска изображения может содержать единичные пиксели, неверно отнесенные к фону или новообразованию. Применение медианной фильтрации в окне 3×3 пикселя для бинарной маски позволяет решить эту проблему, что способствует более качественной сегментации области новообразования.

Для оценки асимметрии новообразования необходимо обнаружить его границы. Для поиска границ производится проход по всем точкам новообразования и отнесение к границе пикселей, в окрестности которых на расстоянии одного пикселя есть точки, принадлежащие фону.

ПОИСК ЦЕНТРА МАСС

Для оценки асимметрии новообразования необходимо обнаружить его центр масс на изображении. Координаты центра масс определяются по формулам (3, 4):

$$X = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{\sum_{i=1}^N 1}, \quad (3)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{\sum_{i=1}^N 1}, \quad (4)$$

где X, Y – координаты центра масс новообразования, N – количество пикселей в изображении новообразования, i – номер пикселя, x_i, y_i – координаты пикселей.

ПОСТРОЕНИЕ ОСЕЙ ИНЕРЦИИ

Для однозначной оценки асимметрии новообразования, требуется найти главные оси инерции для его изображения [12]. Для этого необходимо вычислить значение моментов инерции и центробежного момента инерции для двух произвольных ортогональных осей, проходящих через центр масс по формулам (5), (6), после чего найти угол поворота главных осей при помощи уравнения (7).

$$I_x = \sum_{i=1}^N x_i^2, \quad (5)$$

$$I_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i, \quad (6)$$

$$\operatorname{tg}(2\alpha_0) = \frac{2I_{xy}}{I_y - I_x}, \quad (7)$$

где I_y, I_x – моменты инерции относительно осей OX и OY , I_{xy} – центробежный момент инерции, N – количество пикселей в изображении новообразования, i – номер пикселя, x_i, y_i – координаты пикселей, α_0 – угол поворота произвольных осей для перехода к главным осям инерции.

ОЦЕНКА АСИММЕТРИИ

Относительно обеих главных осей инерции рассчитывается коэффициент асимметрии. Для этого относительно каждого пикселя, принадлежащего оси, производится следующее вычисление:

$$D_i = \begin{cases} 0, & |L_1 - L_2| \leq 2 \\ 1, & |L_1 - L_2| > 2, \end{cases} \quad (8)$$

где D_i – переменная, отражающая симметрию границы новообразования относительно точки, лежащей на одной из главных осей, i – номер точки, лежащей на одной из главных осей, L_1, L_2 – длины перпендикулярных оси отрезков, проведенных из точки i до границы новообразования.

Коэффициент асимметрии относительно оси рассчитывается по формуле:

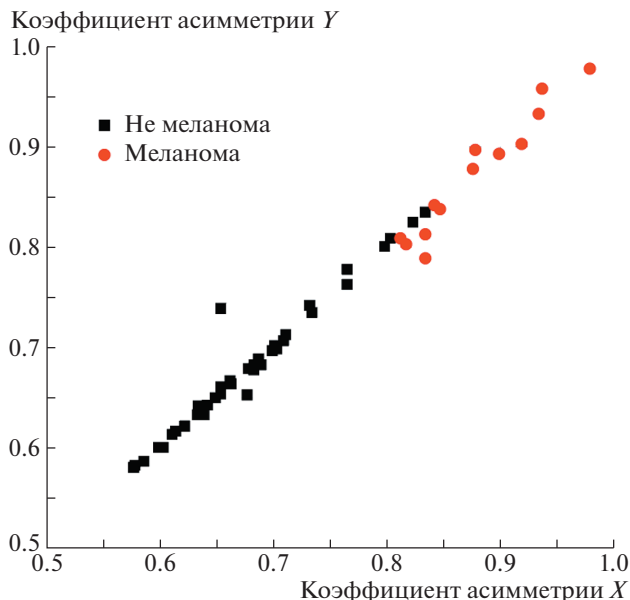


Рис. 2. Коэффициенты асимметрии новообразований.

$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i, \quad (9)$$

где A — значение коэффициента асимметрии относительно одной из главных осей, D_i — переменная, отражающая симметрию границы новообразования относительно точки, лежащей на одной из главных осей, i — номер точки, N — количество пикселей, принадлежащих главной оси.

2. ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МОДЕЛИ

Целью проведенного эксперимента являлась проверка адекватности предложенной модели. В качестве исходных данных использовались 60 изображений новообразований кожи, 20 из которых являлись изображениями меланом. Методика эксперимента включает следующие шаги:

- 1) расчет коэффициентов асимметрии относительно главных осей симметрии для всех исследуемых изображений;
- 2) проверка наличия корреляции между коэффициентами относительно двух осей;
- 3) построение гистограмм значений коэффициентов асимметрии для злокачественных и доброкачественных новообразований.

Для проведения эксперимента было разработано программное обеспечение с использованием языка программирования C++.

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Коэффициенты асимметрии, рассчитанные относительно главных осей для изображений злокачественных и доброкачественных новообразований, приведены на графике (рис. 2).

В связи с явным наличием корреляции между коэффициентами асимметрии относительно главных осей инерции, при дальнейшем рассмотрении будут использоваться значения только для одной оси.

Из гистограммы (рис. 3) следует, что классы меланомы и не меланомы разделяются по коэффициенту асимметрии при пороговом значении

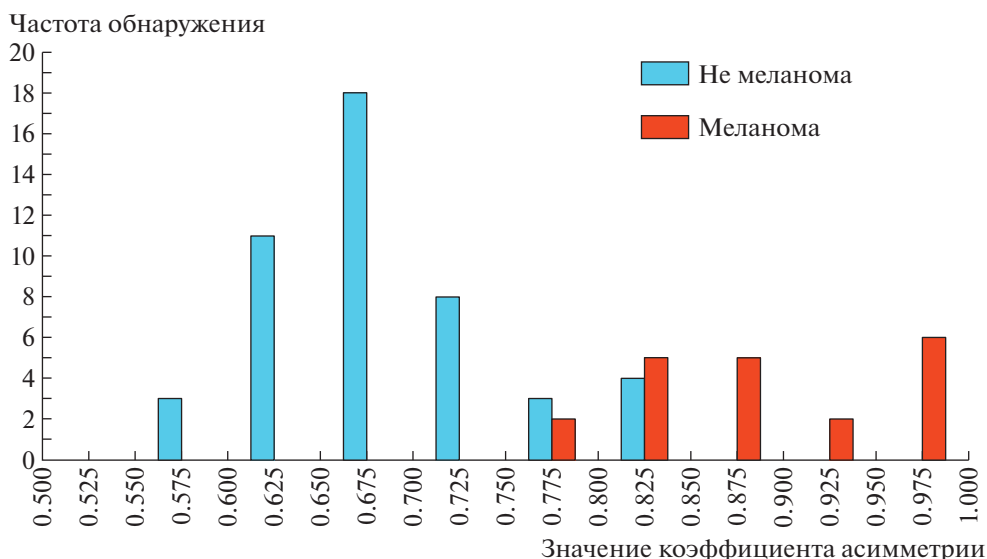


Рис. 3. Гистограмма коэффициентов асимметрии.

$T = 0.825$. При этом точность классификации меланомы составляет 90%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа посвящена разработке модели оценки асимметрии новообразований кожи. Предложенная модель отличается от существующих однозначностью определения значений коэффициентов асимметрии. Для проверки адекватности модели проведен эксперимент с использованием 60 изображений новообразований кожи, среди которых было 20 меланом. Для проведения эксперимента было разработано программное обеспечение с использованием языка программирования C++. Эксперимент показал, что между значениями коэффициентов асимметрии злокачественных и доброкачественных новообразований можно выбрать пороговое значение и разделить классы меланомы и не меланомы с точностью 90%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Канрин А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность). 2019. Москва: МНИОИ им. П.А. Герцена (ф. ФГБУ НМИЦ радиологии МЗ РФ).
2. Коровин С.И., Литус А.И., Литвиненко Б.В. и др. // Клини. онкол. 2012. № 8 (4).
3. Friedman R., Rigel D., Kopf A. // CA: Cancer J. Clin. 1985. V. 35. P. 130–151.
4. Lattoofi N.F., et al. Melanoma Skin Cancer Detection Based on ABCD Rule. Proc. 1st Int. Conf. Computer and Applied Sciences (CAS). Baghdad, Iraq. 2019. P. 154–157.
<https://doi.org/10.1109/CAS47993.2019.9075465>.
5. Ali A.R.H., Li J., Yang G. // IEEE Access. 2020. V. 8. P. 83333–83346.
6. Nikitaev V.G. // Meas. Tech. 2015. V. 58 (6). P. 719–723.
7. Nikitaev V.G. // Meas. Tech. 2015. V. 58 (2). P. 214–218.
8. Nikitaev V.G. // Meas. Tech. 2015. V. 58 (4). P. 68–70.
9. She Z., Liu Y., Damato A. // Skin Res. Technol. 2007. V. 13 (1). P. 25–33.
10. Kasmir R., Mokrani K. // IET Image Process. 2016. V. 10 (6). P. 448–455.
11. Ali A.R., Li J., O'Shea S.J. // PloS One. 2020. V. 15 (6). P. e0234352.
12. Stoecker W.V., Li W.W., Moss R.H. // Comput. Med. Imaging Graph. 1992. V. 16 (3). P. 191–197.
1. Канрин А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. Злокачественные новообразования в России в 2018

Evaluation Model of the Asymmetry of Pigment Neoplasm

T. P. Zanegina¹, V. G. Nikitaev¹, *, A. N. Pronichev¹, M. A. Solomatin¹, A. E. Voronin¹,
I. V. Arkhangelskaya¹, A. V. Soshnina¹, A. I. Petukhova¹, P. Yu. Bagnova¹, O. B. Tamrazova²,
V. Yu. Sergeev³, and Yu. Yu. Sergeev³

¹National Research Nuclear University MEPhI (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: VGNikitaev@mephi.ru

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

Abstract—The paper presents the results of the development of a visual method for recognizing skin neoplasms based on a model for assessing the asymmetry of the form of a pigmented neoplasm. Images of pigmented skin neoplasms obtained using a dermatoscope were considered as initial data. To analyze the images, a model was used to calculate the coefficients of shape asymmetry calculated relative to the main axes of inertia of the neoplasm, which makes it possible to obtain values independent of the angle of rotation of the images.

Keywords: melanoma, skin neoplasms, digital images, image processing, center of mass, asymmetry