

Появление на экране прибора такой комбинации будет свидетельствовать о корректности измерения ВГД.

Заключение

Таким образом, опираясь на данные проведенных исследований, можно предложить следующую процедуру формирования результата измерения внутриглазного давления тонометром динамического типа и вывода результата измерения на дисплей прибора.

1. Выполнить последовательно N раз по два измерения периода свободных колебаний системы «вибратор-глаз». Одно измерение при предварительном отклонении системы «вибратор-глаз» от состояния устойчивого равновесия в направлении, противоположном направлению действия силы тяжести, и другое – по направлению действия силы тяжести.

2. Для каждой j -й пары измерений ($j = 1, 2, \dots, N$) усреднить полученные результаты в соответствии с выражением (1).

3. Определить диапазон, в который попадает значение периода T_j (табл. 1).

4. Рассчитать значение внутриглазного давления P_j ($j = 1, 2, \dots, N$) по формулам, аналогичным выражениям (2) и (3).

5. Запомнить каждое из полученных значений P_j .

6. Определить среднее значение $P_{ср}$ в соответствии с выражением (4).

7. Вычислить стандартную неопределенность измерения u в соответствии с выражениями (5) и (6).

8. Вычислить расширенную неопределенность измерения U в соответствии с формулой (7).

9. Сравнить полученное значение U расширенной неопределенности измерения с допускаемой неопределенностью $\Delta_{доп}$ для данного диапазона ВГД (± 2 мм рт. ст. для диапазона 7...23 мм рт. ст. и ± 5 мм рт. ст. для диапазона 23...50 мм рт. ст.).

10. Если $U \leq \Delta_{доп}$, то на дисплей прибора вывести: $P_{ВГД} \pm U$ мм рт. ст., где $P_{ВГД} = P_{ср}$ из п. 6, иначе повторить пп. 1...9.

Список литературы:

1. Дыкин В.И., Иванищев К.В., Корнев Н.П., Михеев А.А., Соломаха В.Н. Тонометр внутриглазного давления динамического типа // Медицинская техника. 2013. № 3. С. 18-21.

- Макашова Н.В., Иванищев К.В. Клинические результаты транспальпебральной тонометрии // Глаукома. Журнал НИИ глазных болезней РАМН. 2013. № 2. С. 42-46.
- Тугеева Э.З., Воронцова Т.Н. Возможности применения транспальпебрального тонометра ТВГД-01 в детской офтальмологической практике // Клиническая офтальмология. 2013. № 2. С. 61-63.
- ТВГД-02 Руководство по эксплуатации (электронный ресурс) / <http://files.elamed.com/tvgd-02-rukovodstvo.pdf> (дата обращения 24.01.2021).
- ГОСТ Р 54500.3–2001/Руководство ИСО-МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.
- Дыкин В.И., Иванищев К.В., Корнев Н.П., Михеев А.А., Соломаха В.Н. Устройство для калибровки тонометра динамического типа ТВГД-01 // Медицинская техника. 2013. № 4. С. 33-37.
- ГОСТ Р ИСО 8612–2010 Приборы офтальмологические. Тонометры.

Михаил Юрьевич Даниченко,
ведущий инженер,
АО «Елатомский приборный завод»,
г. Елатьма, Рязанская область,
Анатолий Александрович Михеев,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра автоматизированных
систем управления,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный
радиотехнический университет
им. В.Ф. Уткина»,
г. Рязань,
e-mail maa0312@yandex.ru

В.Г. Никитаев, А.Н. Проничев, О.Б. Тамразова, В.Ю. Сергеев,
М.А. Соломатин, О.А. Медведева, В.С. Козлов

Модель распознавания бесструктурных гиперпигментированных областей в онкодерматологии

Аннотация

Представлена разработка модели распознавания бесструктурных гиперпигментированных областей на изображениях новообразований кожи. Решение указанной задачи важно для диагностики быстропрогрессирующего онкологического заболевания – меланомы кожи. В качестве исходных данных использовались изображения, полученные с применением цифрового оптического прибора – дерматоскопа РДС-2. Выделение областей гиперпигментации на изображениях новообразований кожи рассмотрено как ключевой этап решения поставленной задачи. На основе предложенной модели разработана программа по распознаванию исследуемых областей новообразования в онкодерматологии. Точность распознавания по результатам проведенного эксперимента составила 82 %. Предложенная модель может быть рекомендована к использованию в разработке систем поддержки принятия врачебных решений при диагностике меланомы.

Введение

Опухоли кожи уже не первый год входят в список самых распространенных онкологических заболеваний в мире. На долю меланомы кожи, которая по сегодняшний день остается причиной более 80 % смертей в группе новообразований кожи, приходится 3...5 % от всех первичных злокачественных опухолей кожи. Причем во всех регионах мира констатируют ус-

тойчивый рост заболеваемости меланомой [1]. Преимущества органосохраняющих технологий, обуславливающих тенденции современной медицины, стали причиной стремительного развития новых неинвазивных методов исследования морфологии тканей. К наиболее распространенным из них относится дерматоскопия [2].

Дерматоскопия кожи – неинвазивный метод диагностики пигментных образований, позволяющий посредством визуа-

лизации оценить морфологию поверхностных структур кожи, невидимую невооруженным глазом. Определенное сочетание дерматоскопических признаков формирует клиническую характеристику пигментного образования [3]-[5]. Качество интерпретации таких признаков определяется врачебным опытом работы в онкодерматологии, специальной подготовкой и умением применять дифференциально-диагностические алгоритмы. Стоит отметить, что наибольшее число ошибок наблюдается именно при поверхностно распространяющейся меланоме [6]. В связи с этим одной из наиболее актуальных задач онкодерматологии является совершенствование методов раннего выявления меланомы кожи с применением цифровых технологий распознавания образов.

Для облегчения оценки структур и характерных признаков, выявляемых при помощи дерматоскопа, предложены различные диагностические алгоритмы, в том числе алгоритм Китлера [7]. Он основан на использовании визуально легко интерпретируемых и формализуемых терминов при описании новообразований. Одним из значимых дерматоскопических признаков при диагностике меланомы является наличие бесструктурных гиперпигментированных областей. Для них характерна темно-коричневая или черная окраска и ассиметричное расположение в новообразовании кожи [7].

Обработка изображений в значительной части компьютерных систем диагностики меланомы направлена на анализ общих характеристик новообразования. Цифровому анализу изображений отдельных структурных элементов уделяется весьма незначительное внимание, что негативно сказывается на интерпретации исследуемого дерматоскопического изображения новообразования в целом.

К числу нерешенных проблем компьютерного анализа дерматоскопических изображений новообразований кожи относится распознавание областей гиперпигментации.

Цель работы – разработка модели распознавания бесструктурных гиперпигментированных областей новообразования кожи на цифровых дерматоскопических изображениях в интеллектуальных системах диагностики меланомы.

Для достижения поставленной цели необходимо сформировать обобщенную структуру аппаратно-программной системы

диагностики меланомы с выделением областей гиперпигментации, рассмотреть альтернативные подходы к выделению таких участков пигментации на изображениях новообразований кожи, разработать модель цифровой обработки изображения, обеспечивающей распознавание искомых областей новообразования, а также реализовать соответствующую программную систему и провести экспериментальное исследование.

Концептуальная модель распознавания бесструктурных гиперпигментированных областей в онкодерматологии

Создание современных интеллектуальных систем диагностики меланомы с применением технологий цифровой обработки изображений основано на объединении на одной аппаратно-программной платформе следующих систем: клинической, научно-исследовательской, обучающей, телемедицинской, информационной, организационной. В основе архитектуры таких систем должны быть заложены междисциплинарные знания экспертов [8]-[10]. Концептуальная модель распознавания бесструктурных гиперпигментированных областей в онкодерматологии представлена на рис. 1. Здесь ключевым этапом является сегментация изображения для выделения областей гиперпигментации на изображениях новообразований кожи. Для обеспечения большей точности выделения областей выполняется предварительная фильтрация изображения, а классификация выделенных областей выполняется по признакам обширности и цвета.

Анализ подходов к выделению областей гиперпигментации на изображениях новообразований кожи

Неотъемлемой задачей системы регистрации областей гиперпигментации является улучшение качества изображения. Шумоподавление используется с целью увеличения четкости изображений новообразований кожи при последующем распознавании. Подавление аддитивного и импульсного шумов на изображениях в предлагаемой системе выполняется с применением медианного фильтра. Его характерной особеннос-



Рис. 1. Концептуальная модель распознавания бесструктурных гиперпигментированных областей в онкодерматологии

тью является сохранение перепадов яркости в изображении, в рассматриваемом случае сохраняются очертания структурных элементов новообразований.

Качество сегментации изображения во многом определяет конечный результат анализа изображений. Степень детализации выделяемых объектов зависит от конкретной задачи [11]. Основные методы базируются на двух свойствах сигнала яркости – разрывности и однородности [12]. К методам, использующим разрывность яркости, относится обнаружение точек линий и перепадов. Методы пороговой обработки применяют для разделения значимых характеристик по некоторому порогу. Метод наращивания областей основывается на обнаружении разрывов яркости [13].

Для выделения бесструктурных гиперпигментированных областей предложено использовать сегментацию при помощи порога, разграничивающего моды распределения яркостей цветовых компонент пикселей изображения. Сегментация изображения осуществлялась путем поэлементного сканирования изображения и сравнения яркости цветовой компоненты пикселя с порогом. Пиксели с меньшей яркостью относятся к исследуемому объекту, прочие – к фону; таким образом, формируется бинарное изображение.

Значение порога бинаризации изображения определялось экспериментально. По результатам анализа 100 изображений из дерматоскопической базы знаний выделено два класса пигментации: типичная и атипичная. Для каждого типа пигментации измерены значения компонент *RGB* и *HSV*. На основе полученных значений построены гистограммы яркости по каждой из цветовых компонент. По гистограммам устанавливался порог бинаризации в соответствии с минимизацией ошибки сегментации. По результатам анализа полученных шести гистограмм выбрана оптимальная цветовая компонента – *R* и соответствующий ей порог, разделяющий области типичной пигментации и гиперпигментации (рис. 2).

Классификация бесструктурных областей, выделенных методом бинаризации, основывалась на оценке коэффициента обширности и цвета.

Обширность области гиперпигментации определяется соотношением

$$k = S_2 / S_1,$$

где *k* – коэффициент обширности области; *S₂* – площадь области гиперпигментации; *S₁* – площадь новообразования. К дальнейшему рассмотрению допускались области с *k* > 10 %.

На выделенные путем бинаризации участки пигментации накладывались цветовые ограничения: одним из критериев областей гиперпигментации являлся темно-коричневый цвет.

Цвет определялся компонентой *Hue* – цветовым тоном в цветовой модели *HSV*, две остальные компоненты регулировали насыщенность и яркость.

Подводя итог анализу подходов к выделению искомым областей на изображениях новообразований кожи, можно сделать вывод, что предлагаемая модель распознавания бесструктурных гиперпигментированных областей может быть представлена кортежем

$$\langle I_{вх}, F, B, G, P, K, I_{вых} \rangle,$$

где *I_{вх}* – исходное изображение; *F* – фильтрация шумов на изображении; *B* – сегментация изображения методом бинаризации в соответствии с оптимальным порогом выбранной компоненты; *G* – сглаживание границ выделенных областей; *P* – определение признаков обширности и цвета для выделенных областей; *K* – классификация полученных областей в соответствии с коэффициентами обширности и цвета; *I_{вых}* – выходное изображение с размеченными областями гиперпигментации.

Экспериментальное исследование

Цель эксперимента – проверка эффективности предложенной модели. В среде разработки Qt была написана программа на языке C++, реализующая распознавание бесструктурных областей гиперпигментации. При формировании выборки изображений для проведения эксперимента рассматривалось 2995 изображений новообразований кожи (сайт telederm.ru). Из базы изображений были отобраны те, в которых имеются разные виды признака «бесструктурная область», в том числе участки гиперпигментации. Кроме того, в выборку были включены изображения новообразований кожи, не содержащие такого признака, но в которых присутствуют другие структурные элементы. Результат распознавания области гиперпигментации представлен на рис. 3.

Согласно проведенному эксперименту, применение разработанной модели для 300 изображений новообразований из дерматоскопической базы с характеристиками бесструктурной области гиперпигментации показало точность распознавания участков 82 %, что подтверждает работоспособность предложенной системы.

Заключение

В данной статье представлена модель распознавания бесструктурных гиперпигментированных областей в онкодерматологии. Были рассмотрены альтернативные подходы к выделению участков пигментации на изображениях новообразований кожи, разработана модель цифровой обработки изобра-

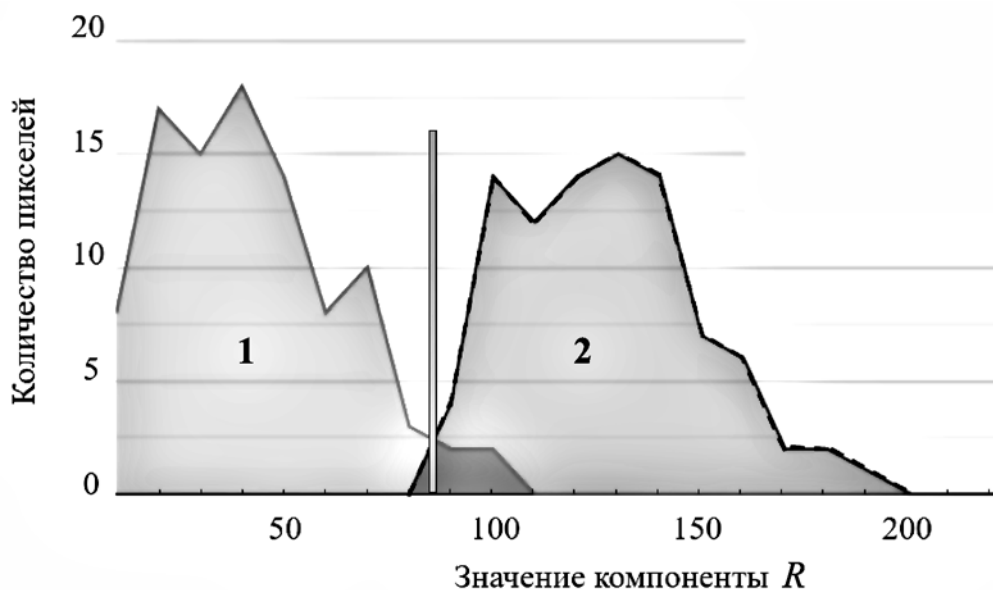


Рис. 2. Гистограмма распределения значений цветовой компоненты *R* для областей типичной пигментации и гиперпигментации для 100 исследуемых изображений: 1 – область гиперпигментации; 2 – область типичной пигментации

жения, обеспечивающая обнаружение искомым областей. Реализована соответствующая программная система. В результате проведенного эксперимента получена точность распознавания гиперпигментированных областей 82 %.

Компьютерная система, основанная на предложенной модели распознавания областей гиперпигментации на изображениях новообразований кожи, направлена на повышение эффективности дифференциальной диагностики пигментных новообразований кожи за счет компьютеризации анализа дерматоскопических изображений и, как следствие, уменьшение субъективизма диагностики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ по проекту 19-11-00176.

Список литературы:

1. Эркенова Ф.Д., Пузин С.Н. Статистика меланомы в России и странах Европы // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2020. № 1. С. 44-52.
2. MacLellan A.N., Price E.L., Publicover-Brower P., Matheson K., Ly T.Y., Pasternak S., Walsh N.M., Gallant C.J., Oakley A., Hull P.R., Langley R.G. The Use of Non-Invasive Imaging Techniques in the Diagnosis of Melanoma: A Prospective Diagnostic Accuracy Study // Journal of the American Academy of Dermatology. 2020. Vol. 11. PP. 1-26.
3. Sonthalia S., Yumeen S., Kaliyadan F. Dermoscopy overview and extradiagnostic applications / StatPearls[Internet]. 2020. August 13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537131/>.
4. Гетьман А. Дерматоскопия новообразований кожи. – Екатеринбург: Уральский Рабочий, 2015. 160 с.
5. Галли-Оглы Г.А., Молочков В.А., Сергеев Ю.В. Дерматоонкология. – М.: Медицина для всех, 2005. 872 с.
6. Демидов Л.В., Соколов Д.В., Бульчева И.В., Шаиков Б.В., Махсон А.Н., Ворожцов Г.Н., Кузьмин С.Г., Соколов В.В. Совершенствование методов диагностики меланомы кожи // Вестник РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН. 2007. Т. 18. № 1. С. 36-41.
7. Жучков М.В., Булиньска А.К., Куттлер Г. Применение алгоритма «Хаос и Признаки» в оценке дерматоскопических изображений пигментных новообразований кожи // Дерматология (прил. к журн. «Consilium Medicum»). 2017. № 2. С. 5.
8. Nikitaev V.G. Expert systems in information measuring complexes of oncological diagnoses // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. № 6. PP. 719-723.
9. Nikitaev V.G. Medical and biological measurements: Experimental high-technology information-measuring complexes of cancer diagnosis: Problems and key points of the construction methodology // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. № 2. PP. 214-218.
10. Nikitaev V.G. Modern measurement principles in intellectual systems for a histological diagnosis of oncological illnesses // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. № 4. PP. 68-70.
11. Вудс Р., Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

12. Ревякин А.М., Скурнович А.В. Подходы к разработке системы распознавания для решения задачи определения контента цифровых изображений // Науковедение (интернет-журнал). 2016. Т. 8. № 4. С. 25-25.
13. Стругайло В.В. Обзор методов фильтрации и сегментации цифровых изображений // Наука и образование. 2012. № 5. С. 270-281.

*Валентин Григорьевич Никитаев,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра компьютерных медицинских систем,
Александр Николаевич Проничев,
канд. техн. наук, доцент,
отделение биотехнологий офиса
образовательных программ,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
ядерный университет МИФИ»,
Ольга Борисовна Тамразова,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра дерматовенерологии
и косметологии,
факультет непрерывного медицинского
образования,
ФГАОУ ВО «Российский
университет дружбы народов»,
Василий Юрьевич Сергеев,
канд. мед. наук, доцент,
кафедра дерматовенерологии
и косметологии,
ФГБУ ДПО «Центральная государственная
медицинская академия Управления
делами Президента Российской Федерации»,
Михаил Андреевич Соломатин,
студент,
Ольга Александровна Медведева,
студентка,
Владимир Сергеевич Козлов,
аспирант,
кафедра компьютерных медицинских систем,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
ядерный университет МИФИ»,
г. Москва,
e-mail: vgnikitayev@mephi.ru*

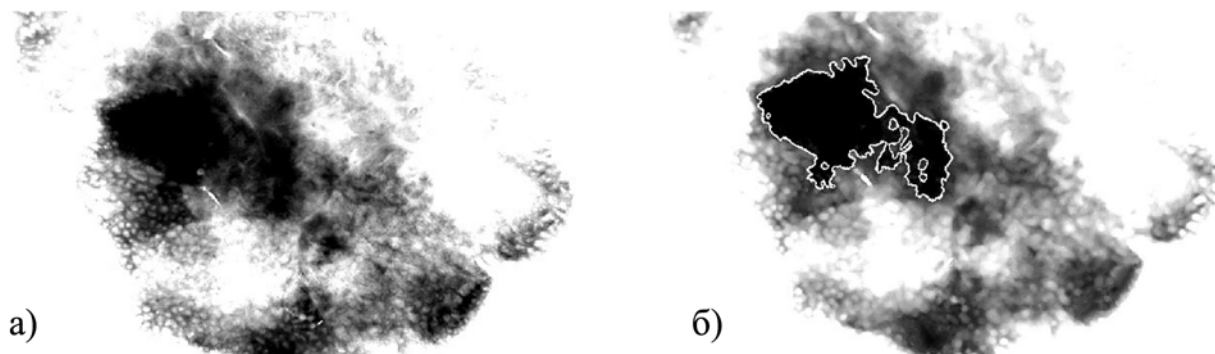


Рис. 3. Пример распознавания области гиперпигментации: а) исходное изображение новообразования кожи; б) изображение с отображением границы области гиперпигментации