

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.12.7>

УДК 681.7:57.08

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И ЦВЕТА ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СКРИНИНГЕ ПИГМЕНТНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ

К. Г. Кудрин¹, Е. Н. Римская², О. Ю. Павлюкова³, Д. В. Давыдов¹, И. В. Решетов^{1,4}

¹ Академия постдипломного образования Федерального научно-клинического центра специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий

Федерального медико-биологического агентства,

125371, Москва, Волоколамское шоссе, 91

² Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана,
105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5-1

³ Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН,
125009, Москва, ул. Моховая, 11-7

⁴ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова,
119991, Москва, ул. Трубецкая, 8-2

Статья поступила в редакцию 4 декабря 2020 г.

Аннотация. Описываются особенности измерения параметров размеров формы и цвета при автоматизированном скрининге меланомы и пигментных новообразований кожи. Известным клиническим параметрам пигментных новообразований кожи ставится в соответствие комплекс измеряемых параметров. На основе данных о значениях количественных клинических параметров определяются допустимые погрешности измерения линейных параметров и параметров площади. Рассматриваются факторы, вносящие случайные погрешности при измерении линейных параметров и параметров площади методом картирования поверхности тела человека. Аналитически оцениваются погрешности при измерении линейных параметров и параметров площади. Оценены погрешностей измерения параметров цвета пигментных новообразований кожи методом картирования поверхности тела человека. Установлена возможность автоматизированного скрининга пигментных новообразований кожи методом картирования поверхности тела человека.

Ключевые слова: меланома кожи, ранняя диагностика, автоматизированный скрининг, клинические параметры, допустимые погрешности, погрешности измерения, картирование поверхности кожи.

Abstract. The paper describes the features of measuring parameters of size, shape, and color in automated screening of melanoma and skin pigmented neoplasms. Based on the known clinical parameters of pigmented skin neoplasms a set of measured parameters are proposed. The allowable errors of measuring the linear parameters and area parameters using numerical parameters of size are determined. A factors that introduce random errors of measuring the linear parameters and area parameters by the body mapping are considered. Measuring errors of linear parameters and area parameters are estimated analytically. The measurement errors for color parameters of skin pigmented neoplasms by body mapping are presented. The possibility of automated screening of melanoma and skin pigmented neoplasms by body mapping are confirmed.

Key words: skin melanoma, early diagnosis, automated screening, clinical parameters, allowable errors, measurement errors, skin surface mapping.

Введение

В структуре дерматокосметологической заболеваемости населения новообразования кожи составляют около 39%. Наиболее опасным заболеванием кожи является меланома кожи. Доля меланомы среди опухолевых заболеваний кожи не велика: 3 – 5%, - однако меланома является наиболее частой причиной смерти больных с онкопатологией кожи [1-3].

Стандартизированные показатели заболеваемости меланомой последние 20 лет ежегодно возрастают на 7 – 10 % в большинстве стран мира включая Россию [4-9]. В России ежегодно выявляется свыше 7000 меланом. Более чем у половины заболевших диагностируются новообразования с глубокими уровнями инвазии в подлежащие ткани, что сказывается на показателях пятилетней выживаемости [9]. Поэтому проблема ранней диагностики меланомы кожи имеет высокое значение.

Эксцизионная биопсия опухоли (с последующим морфологическим исследованием удалённых биотканей) всё ещё является наиболее точным методом диагностики злокачественных новообразований [2-7]. Удаление новообразований кожи выполняют только при весомых подозрениях на меланому или её предшественников.

В онкодерматологии наиболее распространён визуальный осмотр [4, 10]. В то же время клинические признаки меланомы и её предшественников не достаточно выражены на ранних стадиях. Возникает необходимость в дифференциальной, уточняющей диагностике с применением разнообразных инструментальных средств [5, 8].

Неинвазивную уточняющую диагностику новообразований кожи проводят с помощью различных методов и соответствующих им инструментальных средств: дерматоскопия (в том числе цифровая) [10–18], конфокальная лазерная микроскопия [19–22], ультразвуковое сканирование кожи [23–25], термометрия [26–28]. Продолжается поиск новых методов уточняющей диагностики: магнитно-резонансная микроскопия [29], оптическая когерентная томография [30–35], флуоресцентная диагностика [36–39], спектроскопия и визуализация в терагерцовом диапазоне [40–43]. Разнообразие методов уточняющей диагностики при всех достоинствах и недостатках все-таки не решает главную проблему: выявление меланомы кожи на ранней стадии, в том числе на стадии предшественников, о чём свидетельствуют показатели выявляемости меланомы и данные по пятилетней выживаемости заболевших [9, 44, 45].

Скрининг пигментных новообразований кожи является одним из эффективных методов раннего обнаружения меланомы [46]. Его возможности позволяют выявлять пациентов с подозрительными новообразованиями и высоким риском развития меланомы, обнаруживать изменяющиеся и вновь появившиеся новообразования у пациентов группы риска, например, с синдромом кожной полиневоплазии. Популярность получили системы автоматизированного скрининга, позволяющие создавать так называемую карту поверхности тела пациента [47,48].

Целью работы является рассмотрение метрологических основ скрининга пигментных новообразований на основе картирования поверхности тела. В работе рассмотрены клинические параметры пигментных новообразований кожи, допустимые погрешности их определения, источники погрешностей и их оценки при измерении клинических параметров методом картирования поверхности кожи.

1. Клинические параметры новообразований кожи

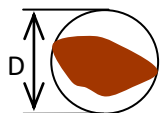
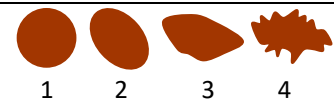

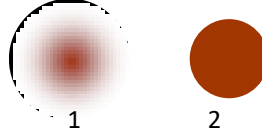
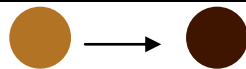


Клинические описания новообразований кожи содержат сведения о размерах, форме, цвете новообразований кожи, особенностях границы, текстуре поверхности [49]. Также в клинической практике известен перечень визуальных признаков малигнизации пигментных новообразований кожи [50].

- исчезновение кожного рисунка на поверхности;
- появление блестящей, глянцевой поверхности;
- появление асимметрии или неправильности очертаний, изменение формы;
- появление изрезанности границы;
- горизонтальный рост;
- шелушение поверхности с образованием сухих корочек;
- отсутствие или выпадение волосяного покрова на поверхности;
- частичное (неравномерное) или полное изменение окраски, появление участков депигментации;
- появление мелких узелков на поверхности;
- вертикальный рост над окружающими тканями.

Клинические признаки и признаки озлокачествления группируются по категориям, описывающим размеры, форму, границу, цвет, равномерность пигментации и их изменения. В таблице 1 приведён комплекс клинических параметров, с помощью которого возможно описание пигментных новообразований кожи и который можно определять автоматизированно при скрининге методом картирования поверхности кожи.

Выбор пространства признаков, обеспечивающего наибольшую вероятность правильного распознавания формы, был осуществлён по результатам исследований [52]. Было установлено, что при самых низких вычислительных затратах геометрические признаки обеспечивают приемлемую точность классификации формы пигментных новообразований кожи.

Таблица 1. Клинические параметры пигментных новообразований кожи

Параметр	Примечание
Диаметр (D), площадь (S)	
Форма (F), изменение формы (ΔF)	
Время удвоения объёма (T_v)	
Резкость границы (R_g), изменение резкости границы (ΔR_g)	
Изменение цвета (ΔC)	
Неравномерность пигментации (R_p)	
Интенсивность пигментации (I_p)	

2. Допустимые погрешности определения клинических параметров пигментных новообразований кожи

За исключением параметров размеров новообразований кожи (диаметр, площадь) все клинические параметры являются качественными. Для их автоматического определения необходим комплекс измеряемых параметров.

Наиболее часто в задачах автоматического распознавания формы используют следующие пространства признаков [51]:

- геометрические признаки;

- геометрические моменты различных порядков;
- пространственно-частотные признаки.

В качестве геометрических признаков были выбраны интуитивно понятные признаки, описывающие гладкость, симметричность относительно двух ортогональных осей и вытянутость контура объекта (таблица 2).

Для определения резкости границы целесообразно использовать нормированный максимальный пограничный градиент интенсивности, характеризующий профиль интенсивности в области границы (таблица 2).

Интенсивность пигментации возможно классифицировать по контрасту пигментного новообразования с окружающей неизменной кожей (таблица 2). Равномерность пигментации возможно описывать статистическими особенностями распределения координат цветности, например, стандартными отклонениями (таблица 2).

Взаимосвязь комплекса клинических и измеряемых параметров показана в таблице 2.

Таблица 2. Взаимосвязь комплекса клинических и измеряемых параметров

П-гр	Взаимосвязь	Измеряемый параметр	
		Обозначение	Название
D	$D = L$	L	Максимальное расстояние между точками контура
S	$S = S_n$	S_n	Площадь за текущее обследование
T_V	$T_V = T_S = \frac{T}{\frac{S_n}{S_c} - 1}$	S_c	Площадь за предыдущее обследование
		T	Период времени между обследованиями
F	$F = \begin{cases} 1, E < P_E, \delta S_E < P_{\delta S_E}, \delta L < P_{\delta L} \\ 2, E \geq P_E, \delta S_E < P_{\delta S_E}, \delta L < P_{\delta L} \\ 3, \delta S_E \geq P_{\delta S_E}, \delta L < P_{\delta L} \\ 4, \delta L \geq P_{\delta L} \end{cases}$	E	Отношение максимального расстояния к максимальному поперечному расстоянию между точками контура

		δS_E	Относительное отклонение площади от площади эллипса равных размеров
		δL	Относительное отклонение длины контура от длины сглаженного контура
ΔF	$\Delta F = \begin{cases} 1, F = F_c \\ 2, F \neq F_c \end{cases}$ <p>F_c – форма за предыдущее обследование</p>	–	–
R_g	$R_g = \begin{cases} 1, Grad \geq P_{Grad} \\ 2, Grad < P_{Grad} \end{cases}$	$Grad$	Нормированный максимальный пограничный градиент интенсивности
ΔR_g	$\Delta R_g = \begin{cases} 1, R_g = R_{g_c} \\ 2, R_g \neq R_{g_c} \end{cases}$ <p>R_{g_c} – резкость границы за предыдущее обследование</p>	–	–
I_p	$I_p = \begin{cases} 1: K < P_{1K}; 2: P_{1K} \leq K < P_{2K} \\ 3: P_{2K} \leq K < P_{3K}; 4: K \geq P_{3K} \end{cases}$	K	Контраст
R_p	$sI = 100 \% \cdot \frac{1}{3} \left(\frac{sr_h}{r_h} + \frac{sg_h}{g_h} + \frac{sb_h}{b_h} \right)$ $R_p = \begin{cases} 1, sI < P_{sI} \\ 2, sI \geq P_{sI} \end{cases}$	sr_h, sg_h, sb_h	СКО координат цветности за текущее обследование
ΔC	$\delta C = 100 \% \cdot \frac{1}{3} \left(\frac{ r_h - r_c }{r_r} + \frac{ g_h - g_c }{g_c} + \frac{ b_h - b_c }{b_c} \right)$ $\Delta C = \begin{cases} 1, \delta C < P_{\delta C} \\ 2, \delta C \geq P_{\delta C} \end{cases}$	$r_h, g_h, b_h,$ r_c, g_c, b_c	Средние значения координат цветности за текущее и предыдущее обследования

Данные о параметрах размеров новообразований кожи и их диагностически значимых изменениях позволяют с помощью методологии расчёта погрешностей косвенных измерений получить значения допустимых погрешностей измерения линейных параметров и параметров площади. Для оценки допустимых погрешностей измерения параметров цвета использовались современные данные об особенностях распределения координат цветности различных нозологических форм пигментных новообразований кожи. Результаты оценки допустимых погрешностей измерения параметров пигментных новообразований кожи приведены в таблице 3.

Таблица 3. Допустимые погрешности измерения параметров пигментных новообразований кожи

Измеряемый параметр	Допустимая погрешность измерения	
Обозначение	Формула	Значение
L	$\Delta_L = \frac{L \cdot \Delta T_s}{2 \cdot T_s} \sqrt{\frac{ T^2 - T_s^2 }{T^2 + T_s^2}}$	0,45 мм
S_n, S_c	$\Delta_S = \frac{S_n - S_c}{T} \sqrt{\frac{\Delta_T^2 (S_n - S_c)^2 - \Delta_T^2 S_c^2}{S_n^2 + S_c^2}}$	2,9 мм ²
T	Δ_T	0,5 суток
E	$\Delta_E = \frac{\Delta_L}{L} \cdot \sqrt{2}$	0,30
δS_E	$\Delta_{\delta S} = \frac{\Delta_T}{T} \delta S \sqrt{ \delta S^2 - 1 }$	0,117
δL	$\delta L = \frac{\Delta_L}{L} \cdot \sqrt{2}$	0,30
$Grad$	$\Delta_G = \frac{\Delta_L}{\Delta X^2}$	7,5%
$K, sr_n, r_n, g_n, b_n, r_c, g_c, b_c$	Результаты исследований	10%

3. Источники погрешностей при скрининге пигментных новообразований кожи

Точность измерения размеров методом картирования поверхности тела зависит от следующих факторов:

- динамика вертикальной позы пациента;
- дыхание пациента.

Перечисленные факторы случайным образом влияют на взаимное положение в пространстве регистрирующего устройства и поверхности кожи пациента. В свою очередь это искажает масштаб регистрируемых изображений и приводит к погрешностям измерения линейных размеров и площади.

В теории фотограмметрии [53] проработан математический аппарат оценки масштаба изображения в зависимости от взаимного положения в пространстве регистрирующего устройства и регистрируемого объекта. С помощью этого математического аппарата возможно определить случайные погрешности измерения, связанные с изменениями масштаба изображения.

Искажение линейных размеров из-за искажения масштаба регистрируемых изображений, обусловленное изменением угла положения регистрируемого объекта в пространстве относительно регистрирующего устройства (θ), описывается соотношениями:

$$F(k_{\theta}, c_{\theta}) = k_{\theta}^2 \max_{\varphi} \left[(k_{\theta} \cdot \cos(\varphi) + c_{\theta} \cdot \sin(\varphi))^2 + \sin(\varphi)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - 1,$$

где $k_{\theta} = \cos(\theta) - \frac{x}{f} \sin(\theta),$

$$c_{\theta} = \frac{y}{f} \sin(\theta),$$

f – фокусное расстояние объектива регистрирующего устройства,

x, y – размеры оптического изображения.

В таблице 4 приведены максимальные отклонения тела пациента в пространстве относительно регистрирующего устройства при поддержании вертикальной позы и соответствующие им погрешности измерения.

Таблица 4. Погрешности измерения, обусловленные поддержанием вертикальной позы пациентом

Кинематические составляющие	Максимальное значение	Изменение масштаба	Погрешность измерения, %
1. Изменение угла наклона корпуса в предметной плоскости	$\alpha_x = 0,9^\circ$	$\delta_{\alpha_x}^L = F(k_{\alpha_x}, c_{\alpha_x})$ $\delta_{\alpha_x}^S = \delta_{\alpha_x}^L \cdot \sqrt{2}$	0,3 0,4
2. Изменение угла наклона корпуса к предметной плоскости	$\alpha_y = 1,2^\circ$	$\delta_{\alpha_y}^L = F(k_{\alpha_y}, c_{\alpha_y})$ $\delta_{\alpha_y}^S = \delta_{\alpha_y}^L \cdot \sqrt{2}$	0,4 0,5
3. Изменения угла поворота корпуса вокруг вертикальной оси	$\beta = 2,0^\circ$	$\delta_{\beta}^L = F(k_{\beta}, c_{\beta})$ $\delta_{\beta}^S = \delta_{\beta}^L \cdot \sqrt{2}$	0,6 0,9
4. Изменение дистанции регистрации при наклоне корпуса в предметной плоскости	$\Delta Z_{\alpha_x} = 24 \text{ мм}^1)$	$\delta_{\Delta Z_{\alpha}}^L = \frac{\Delta Z_{\alpha_x}}{Z + \Delta Z_{\alpha_x}}$ $\delta_{\Delta Z_{\alpha}}^S = \delta_{\Delta Z_{\alpha}}^L \cdot \sqrt{2}$	1,3 1,8
5. Изменение дистанции регистрации при поворотах корпуса	$\Delta Z_{\beta} = 7 \text{ мм}^2)$	$\delta_{\Delta Z_{\beta}}^L = \frac{\Delta Z_{\beta}}{Z + \Delta Z_{\beta}}$ $\delta_{\Delta Z_{\beta}}^S = \delta_{\Delta Z_{\beta}}^L \cdot \sqrt{2}$	0,4 0,6
Итог	$\delta_1^L = \sqrt{(\delta_{\alpha_x}^L)^2 + (\delta_{\alpha_y}^L)^2 + (\delta_{\beta}^L)^2 + (\delta_{\Delta Z_{\alpha}}^L)^2 + (\delta_{\Delta Z_{\beta}}^L)^2}$ $\delta_1^S = \delta_1^L \cdot \sqrt{2}$		1,6 2,2

Примечания: 1) $\Delta Z_{\alpha_x} = h \cdot \sin(\alpha_x)$, где $h = 1500 \text{ мм}$ – высота от пола положения груди мужчины атлетического телосложения среднего роста (1700 мм); 2) $\Delta Z_{\beta} = \frac{b}{2} \cdot \sin(\beta)$, где $b = 391 \text{ мм}$ – средняя ширина плеч мужчины атлетического телосложения.

В таблице 5 приведены максимальные отклонения поверхности тела пациента в пространстве относительно регистрирующего устройства при дыхании и соответствующие им погрешности измерения.

Конкретные значения погрешностей были получены для следующих параметров регистрации:

$f = 21,6 \text{ мм}$ – фокусное расстояние объектива регистрирующего устройства, $x = y = d/2 = 4,5 \text{ мм}$ – размеры оптического изображения, d – длина

изображения, формируемого объективом регистрирующего устройства, Z=1800 мм – расстояние между регистрирующим устройством и пациентом.

Таблица 5. Погрешности измерения, обусловленные дыханием

Кинематические составляющие	Максимальное значение	Изменение масштаба	Погрешность измерения, %
1. Изменение дистанции регистрации	$\Delta Z=25 \text{ мм}^1)$	$\delta_{\Delta Z}^L = \frac{\Delta Z}{Z + \Delta Z}$	1,4
		$\delta_{\Delta Z}^S = \delta_{\Delta Z}^L \cdot \sqrt{2}$	1,9
2. Изменение угла наклона регистрируемой поверхности	$\alpha = 5,0^\circ$ 2)	$\delta_{\alpha}^L = F(k_{\alpha}, c_{\alpha})$	1,8
		$\delta_{\alpha}^S = \delta_{\alpha}^L \cdot \sqrt{2}$	2,6
Итого		$\delta_2^L = \sqrt{(\delta_{\Delta Z}^L)^2 + (\delta_{\alpha}^L)^2}$	2,3
		$\delta_2^S = \delta_2^L \cdot \sqrt{2}$	3,2

Примечания: 1) амплитуда колебаний грудной стенки при дыхании [54];

2) $\alpha = \arctg(\frac{\Delta Z}{c})$, где c = 300 мм – максимальное расстояние от максимально подвижной при дыхании точки корпуса до неподвижной при спокойном дыхании для мужчины атлетического телосложения среднего роста.

Таблица 6. Погрешности измерения линейных размеров и площади

Наименование	Формула	Значение, %
Погрешность измерения линейных размеров, обусловленная динамикой вертикальной позы, δ_1^L	$\delta_1^L = \sqrt{(\delta_{\alpha}^L)^2 + (\delta_{\omega}^L)^2 + (\delta_{\beta}^L)^2 + (\delta_{\Delta Z \alpha}^L)^2 + (\delta_{\Delta Z \beta}^L)^2}$	1,6
Погрешность измерения площади, обусловленная динамикой вертикальной позы, δ_1^S	$\delta_1^S = \delta_1^L \cdot \sqrt{2}$	2,2
Погрешность измерения линейных размеров, обусловленная дыханием, δ_2^L	$\delta_2^L = \sqrt{(\delta_{\Delta Z}^L)^2 + (\delta_{\alpha}^L)^2}$	2,3
Погрешность измерения площади, обусловленная дыханием, δ_2^S	$\delta_2^S = \delta_2^L \cdot \sqrt{2}$	3,2
Суммарная погрешность измерения линейных размеров, δ_{Σ}^L	$\delta_{\Sigma}^L = \sqrt{(\delta_1^L)^2 + (\delta_2^L)^2}$	2,8
Суммарная погрешность измерения площади, δ_{Σ}^S	$\delta_{\Sigma}^S = \delta_{\Sigma}^L \cdot \sqrt{2}$	4

В таблице 6 приведены суммарные погрешности измерения линейных размеров и площади.

4. Позиционирование регистрирующего устройства

Используя вышеописанный математический аппарат, возможно сформулировать требования к точности позиционирования регистрирующего устройства относительно пациента: расстояние между регистрирующим устройством и пациентом, углы ориентации регистрирующего устройства.

Максимально возможная погрешность измерения размеров $\delta_{\Sigma\Pi}^L$, обусловленная позиционированием регистрирующего устройства относительно пациента, определяется допустимой погрешностью измерения линейных и максимальной погрешностью измерения линейных размеров δ_{Σ}^L :

$$\delta_{\Sigma\Pi}^L = \sqrt{(\delta^L)^2 - (\delta_{\Sigma}^L)^2}.$$

$\delta_{\Sigma\Pi}^L$ учитывает как позиционирование по дистанции, так и углы ориентации регистрирующего устройства:

$$\delta_{\Sigma\Pi}^L = \sqrt{(\delta_{\Delta Zn}^L)^2 + (\delta_{\alpha n}^L)^2 + (\delta_{\beta n}^L)^2}$$

Погрешность $\delta_{\Delta Zn}^L$, нужная для определения диапазона позиционирования устройства регистрации, при равном вкладе погрешностей составляет:

$$\delta_{\Delta Zn}^L = \frac{\delta_{\Sigma\Pi}^L}{\sqrt{3}}.$$

Тогда требование по точности дистанции позиционирования описывается выражением:

$$\Delta Z = \frac{\delta_{\Delta Zn}^L \cdot Z}{1 - \delta_{\Delta Zn}^L}.$$

Для принятых параметров регистрации $\Delta Z = 77$ мм.

Требуемая точность для угла места и азимутального угла ориентации регистрирующего устройства рассчитывается по формуле:

$$\delta_{\Delta \alpha n}^L = F(k_{\alpha}, c_{\alpha}).$$

С другой стороны, для принятых параметров регистрации $\delta_{\Delta \alpha n}^L = \frac{\delta_{\Sigma\Pi}^L}{\sqrt{3}} = 4,1\%$,

тогда максимальная неточность по углам ориентации не превышает $\Delta\alpha_n = 9,2^\circ$.

5. Освещённость в предметной плоскости и координаты цветности

На точность измерения параметров цвета может влиять освещённость в предметной плоскости, которая изменяется в силу различных причин. Экспериментальным путём были установлены погрешности измерения координат цветности в зависимости от изменений освещённости в предметной плоскости.

Освещённость в предметной плоскости изменяли в пределах от 1300 – 3500 лк и регистрировали изображения тестобъекта. По зарегистрированным изображениям определяли координаты цветности тестобъекта. Были построены регрессионные зависимости, которые позволили оценить влияние изменения освещённости на координаты цветности и погрешности измерения координат цветности. Установлено, что координаты цветности регистрируемого тестобъекта не меняются в указанном диапазоне освещённостей в предметной плоскости, погрешность измерений не превышает 4 %.

Заключение

Проблема ранней диагностики меланомы кожи тесно взаимосвязана с проблемой лечения заболевших. Современные инструментальные методы и средства существенно повышают эффективность диагностики меланомы, но не решают обозначенных проблем. Скрининг пигментных новообразований кожи на основе картирования поверхности тела пациента улучшает возможности раннего обнаружения патологии.

Представленные исследования формируют метрологический базис автоматизированного скрининга пигментных новообразований кожи на основе картирования поверхности тела. Определены клинические и соответствующие им измеряемые параметры размеров формы и цвета пигментных новообразований кожи. Оценены допустимые погрешности измерения клинических параметров. Оценены погрешности измерения параметров размеров формы и цвета методом картирования поверхности тела. Определены

требования к точности позиционирования регистрирующего устройства и пациента.

Погрешности измерения параметров размеров формы и цвета при соблюдении светотехнических условий проведения обследования не превышают допустимые. Таким образом, возможно создание систем автоматизированного скрининга пигментных новообразований кожи на основе метода картирования поверхности тела, которые обеспечат необходимую для диагностики точность оценки клинических параметров патологии.

Финансирование

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 18-29-02099.

Литература

1. Eisemann N., Waldmann A., Geller A.C., Weinstock M.A., Volkmer B., Greinert R., Breitbart E.W., Katalinic A. Non-Melanoma Skin Cancer Incidence and Impact of Skin Cancer Screening on Incidence // J. Invest. Dermatol. 2014. Vol.134. No.1. P.43 <https://doi.org/10.1038/jid.2013.304>.
2. LeBoit P.E., Burg G., Weedon D., Sarasain A. Pathology and Genetics of Skin Tumours. World Health Organization Classification of Tumours. // IARC Press: Lyon, 2006. 355 p.
3. Shaikh W.R., Xiong M., Weinstock M. A. The contribution of nodular subtype to melanoma mortality in the United States, 1978 to 2007 // Arch Dermatol. 2012. Vol.148. No.1. P.30. <https://doi.org/10.1001/archdermatol.2011.264>.
4. Chen S.T., Geller A.C., Tsao H. Update on the epidemiology of melanoma // Curr. Dermatol. Rep. 2013. Vol.2. No.1. P.24. <https://doi.org/10.1007/s13671-012-0035-5>.
5. Nikolaou V., Stratigos A.J. Emerging trends in the epidemiology of melanoma // British Journal of Dermatology. 2014. Vol.170. No.1. P.11. <https://doi.org/10.1111/bjd.12492>.
6. Tsao H., Olazagasti J.M., Cordero K.M., Brewer J.D., Taylor S.C., Bordeaux J.S., Chren M.M., Sober A.J., Tegeler C., Bhushan R., Begolka W.S. Early detection of

melanoma: Reviewing the ABCDEs. // Journal of the American Academy of Dermatology. 2015. Vol.72. No.4. P.717.

<https://doi.org/10.1016/j.jaad.2015.01.025>.

7. Siegel R.L., Miller K.D., Jemal A. Cancer Statistics, 2016 // CA Cancer Journal for Clinicians. 2016. Vol.66. No.1. P.7. <https://doi.org/10.3322/caac.21332>.
8. Siegel R.L., Miller K.D., Jemal A. Cancer Statistics, 2017 // CA Cancer Journal for Clinicians. 2017. Vol.67. No.1. P.7. <https://doi.org/10.3322/caac.21387>.
9. Состояние онкологической помощи населению России в 2019 году / Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии», Минздрава России, 2020. 239 с.
10. Eggermont A., Spatz A., Robert C. Cutaneous melanoma. // The Lancet. 2014. Vol.1. No.383(9919). P.816. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60802-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60802-8)
11. Rubegni P., Burroni M., Perotti R., Fimiani M., Andreassi L., Cevenini G., Barbini P. Digital dermoscopy analysis and artificial neural network for the differentiation of clinically atypical pigmented skin lesions: a retrospective study // Journal of Investigative Dermatology. 2002. Vol.119. P.471.
12. Bafounta M.L., Beauchet A., Aegerter P., Saiag P. Is dermoscopy useful for the diagnosis of melanoma? Results of a meta-analysis using techniques adapted to the evaluation of diagnostic tests // Arch Dermatol. 2001. Vol.137. No.10. P.1343.
13. Cohen D.E., Sanguenza O.P., Pass E., Stiller M.J. In vivo cutaneous surface microscopy: revised nomenclature // International Journal of Dermatology. 1993. Vol.32. No.4. P.257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-4362.1993.tb04263.x>.
14. Bleve M., Capra P., Pavanetto F., Perugini P. Ultrasound and 3D Skin Imaging: Methods to Evaluate Efficacy of Striae Distensae Treatment // Dermatology Research and Practice. 2012. P.673706. <https://doi.org/10.1155/2012/673706>.
15. Demidov L.V., Sokolov D.V., Bulycheva I.V. The progress in the diagnosis of cutaneous melanoma // Journal of N.N. Blokhin Russian Cancer Research Center of RAMS. 2007. Vol.18. No.1. P.36.

16. Kittler H., Marghoob A.A., Argenziano G. et al. Standardization of terminology in dermoscopy/dermatoscopy: Results of the third consensus conference of the International Society of Dermoscopy // Journal of the American Academy of Dermatology. 2016. Vol.74. No.6. P.1093.
<https://doi.org/10.1016/j.jaad.2015.12.038>.
17. Rosendahl C., Hishon M., Cameron A., Barksdale S., Weedon D., Kittler H. Nodular melanoma: five consecutive cases in a general practice with polarized and non-polarized dermatoscopy and dermatopathology // Dermatology Practical and Conceptual. 2014. Vol.4. No.2. P.69 <https://doi.org/10.5826/dpc.0402a15>.
18. Deinlein T., Richtig G., Schwab C., Scarfi F., Arzberger E., Wolf I., Hofmann-Wellenhof R., Zalaudek I. The use of dermatoscopy in diagnosis and therapy of nonmelanocytic skin cancer // Journal of the German Society of Dermatology. 2016. Vol.14. No.2. P.144. <https://doi.org/10.1111/ddg.12903>.
19. Rajadhyaksha M., González S., Zavislan J.M., Anderson R.R., Webb R.H. In Vivo Confocal Scanning Laser Microscopy of Human Skin II: Advances in Instrumentation and Comparison With Histology // Journal of Investigative Dermatology. 1999. Vol.113. P.293. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1747.1999.00690.x>.
20. González S. Clinical Applications of Reflectance Confocal Microscopy in the Management of Cutaneous Tumors // Actas Dermosifiliogr. 2008. Vol.99. P.528. [https://doi.org/10.1016/S1578-2190\(08\)70309-3](https://doi.org/10.1016/S1578-2190(08)70309-3).
21. Longo C., Ragazzi M., Ragazzi M., Nehal K., Bennassar A., Pellacani G., Guilera J.M. In Vivo and Ex Vivo Confocal Microscopy for Dermatologic and Mohs Surgeons // Dermatologic Clinics. 2016. Vol.34. No.4. P.497.
<https://doi.org/10.1016/j.det.2016.05.012>.
22. Pellacani G., De Pace B., Reggiani C., Cesinaro A.M., Argenziano G., Zalaudek I., Soyer H. P., Longo C. Distinct melanoma types based on reflectance confocal microscopy // Experimental Dermatology. 2014. Vol. 23. No.6. P.414.
<https://doi.org/10.1111/exd.12417>.

23. Zhao B., He Y. Recent advances in the prevention and treatment of skin cancer using photodynamic therapy // Expert Review of Anticancer Therapy. 2010. No.10. P.1797. <https://doi.org/10.1586/era.10.154>.
24. Rohrbach D.J., Muffoletto D., Huihui J., Saager R., Keymel K., Paquette A., Morgan J., Zeitouni N., Sunar U. Preoperative Mapping of Nonmelanoma Skin Cancer Using Spatial Frequency Domain and Ultrasound Imaging // Academic Radiology. 2014. Vol.21. No.2. P.263. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2013.11.013>.
25. Neuschmelting V., Burton N.C., Lockau H., Urich A., Harmsen S., Ntziachristos V., Kirchera M.F. Performance of a Multispectral Optoacoustic Tomography (MSOT) System equipped with 2D vs. 3D Handheld Probes for Potential Clinical Translation // Photoacoustics. 2016. Vol.4. No.1. P.1. <https://doi.org/10.1016/j.pacs.2015.12.001>.
26. Müller J., Hartmann J., Bert C. Infrared camera based thermometry for quality assurance of superficial hyperthermia applicators // Physics in Medicine & Biology. 2016. Vol.61. No.7. P.2646. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/61/7/2646>.
27. Petersen B., Philipsena P.A., Wulf H.C. Skin temperature during sunbathing – relevance for skin cancer // Photochemical & Photobiological Sciences. 2014. Vol.13. No.8. P.1123. <https://doi.org/10.1039/C4PP00066H>.
28. Faust O., Acharya U.R., Ng E.Y.K., Hong T.J., Yu W. Application of infrared thermography in computer aided diagnosis // Infrared Physics & Technology. 2014. Vol.66. P.160. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2014.06.001>.
29. Bleve M., Capra P. F., Perugini P. In vivo MR microscopy of the human skin // Magnetic Resonance in Medicine. 1997. Vol.37. No.2. P.185.
30. Rollins A.M., Kulkarni M.D., Yazdanfar S., Ung-arunyawee R., Izatt J.A. In vivo video rate optical coherence tomography // Optics Express. 1998. Vol.3. No.6. P.219. <https://doi.org/10.1364/OE.3.000219>.
31. Saxer C.E., de Boer J.F., Park H.B., Zhao Y., Chen Z., Nelson J.S. High-speed fiber-based polarization-sensitive optical coherence tomography of in vivo human skin. // Optics Letters. 2000. Vol.25. No.18. P.1355.

<https://doi.org/10.1364/OL.25.001355>.

32. Olsen J., Themstrup L., Jemec G.B. Optical coherence tomography in dermatology. // *Giornale italiano di dermatologia e venereologia*. 2015. Vol.150. No.5. P.603.
33. MacKinnon N., Vasefi F., Booth N., Farkas D.L. Melanoma detection using smartphone and multimode hyperspectral imaging // *Proc. of SPIE*. 2016. Vol.9711. No.1. P.971111. <https://doi.org/10.1117/12.2222415>.
34. Dolganova I.N., Neganova A.S., Kudrin K.G., Zaytsev K.I., Reshetov I.V.. Monte Carlo simulation of optical coherence tomography signal of the skin nevus// *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. No.673. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/673/1/012014>.
35. Zaytsev K.I., Kudrin K.G., Chernomyrdin N.V., Khorokhorov A.M., Prytov A.B., Dolganova I.N., Perchik A.V., Reshetov I.V., Yurchenko S.O.. Wavelet-domain de-noising of optical coherent tomography data for biomedical applications // *Journal of Physics: Conference Series*. 2015. No.584. P.012013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/584/1/012013>.
36. North J.P., Garrido M.C., Kolaitis N.A., LeBoit P.E. Fluorescence in situ hybridization as an ancillary tool in the diagnosis of ambiguous melanocytic neoplasms: a review of 804 cases. *American Journal of Surgical Pathology*. 2014. Vol.38. No.6. P.824. <https://doi.org/10.1097/PAS.000000000000189>.
37. Borisova E.G., Angelova L.P., Pavlova E.P. Endogenous and Exogenous Fluorescence Skin Cancer Diagnostics for Clinical Applications // *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. 2014. Vol.20. No.2. P.211. <https://doi.org/10.1109/JSTQE.2013.2280503>.
38. Chernomyrdin N.V., Zaytsev K.I., Lesnichaya A.D., Kudrin K.G., Cherkasova O.P., Kurlov V.N., Shikunova I.A., Perchik A.V., Yurchenko S.O., Reshetov I.V. Principle component analysis and linear discriminant analysis of multi-spectral autofluorescence imaging data for differentiating basal cell carcinoma and healthy skin // *Proceedings of SPIE - The International Society for*

Optical Engineering 21.Series "Imaging Spectrometry XXI". 2016. P.99760B.
<https://doi.org/10.1117/12.2237607>.

39. Chernomyrdin N.V., Lesnichaya A.D., Yakovlev E.V., Kudrin K.G., Cherkasova O.P., Rimskaya E.N., Kurlov V.N., Karasik V.E., Reshetov I.V., Tuchin V.V., Zaytsev K.I. Differentiation of basal cell carcinoma and healthy skin using multispectral modulation autofluorescence imaging: a pilot study. *Journal of Biomedical Photonics & Engineering*. 2019. Vol.5. No.1(1). P.10302.
<https://doi.org/10.18287/JBPE19.05.010302>.
40. Zaytsev K.I., Kudrin K.G., Karasik V.E., Reshetov I.V., Yurchenko S.O. In vivo terahertz spectroscopy of pigmentary skin nevi: Pilot study of non-invasive early diagnosis of dysplasia // *Appl. Phys. Lett.* 2015. Vol.106. No.5. P.053702.
<https://doi.org/10.1063/1.4907350>.
41. Зайцев К.И., Черномырдин Н.В., Кудрин К.Г., Решетов И.В., Юрченко С.О. ТГц спектроскопия пигментных невусов кожи in vivo // *Оптика и спектроскопия*. 2015. Т. 119. № 3. С.404–410.
<https://doi.org/10.7868/S0030403415090305>.
42. Zaytsev K.I., Chernomyrdin N.V., Kudrin K.G., Gavidush A.A., Nosov P.A., Yurchenko S.O., Reshetov I.V. In vivo terahertz pulsed spectroscopy of dysplastic and non-dysplastic skin nevi // *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. Vol.735. No.1. P.012076. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/735/1/012076>.
43. Zaytsev K.I., Kudrin K.G., Reshetov I.V., Gavidush A.A., Chernomyrdin N.V., Karasik V.E., Yurchenko S.O. In vivo spectroscopy of healthy skin and pathology in terahertz frequency range // *Journal of Physics: Conference Serie*. 2015. Vol.584. P.012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/584/1/012023>.
44. Решетов И.В., Потекаев Н.Н., Арутюнян Л.С., Залетаев Д.В., Маторин О.В., Кудрин К.Г. Диспластический невус как предшественник меланомы кожи // *Российский онкологический журнал: научно-практический журнал*. 2009. №5. С.54-56.
45. Конопацкова О.М., Жандарова Л.Ф. Меланома кожи в г. Саратове // *Клиника и лечение меланом кожи: Тез. Всесоюз. Симпоз. Л.* 1990. С.33-34.

46. Ахмедов Б.П. Хасанова З.М. Скрининг рака кожи // Современная онкология. – 2002. Т.4. №4. С.50.
47. Соколов Д.В., Ворожцов Г.Н., Махсон А.Н. и др. Комплексный метод ранней диагностики меланомы кожи // Российский онкологический журнал. 2008. №4. С.6-10.
48. Kudrin K.G., Rimskaya E.N., Apollonova I.A., Nikolaev A.P., Chernomyrdin N.V., Svyatoslavov D.S., Davydov D.V., Reshetov I.V. Early Diagnosis of Skin Melanoma Using Several Imaging Systems. Optics and Spectroscopy. 2020. Vol.128. No.6. P.820–831. <https://doi.org/10.1134/S0030400X20060132>.
49. Фитцпатрик Т., Джонсон Р., Вульф К., и др. Дерматология. Атлас-справочник. Пер с англ. МакГроу-Хилл-Практика, 1999. 1088 с.
50. Чиссов В.И., Старинский В.В., Александрова Л.М. и др. Раннее выявление и профилактика меланомы кожи. М.: ФГБУ «МНИОИ им. П.А. Герцена» Минздрава России. 2013. 22 с.
51. Гашников М.В. и др. Методы компьютерной обработки изображений/ Под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физматлит, 2001. 784 с.
52. Кудрин К.Г., Решетов И.В., Маторин О.В. Автоматическое распознавание формы при ранней диагностике меланомы кожи// V Троицкая конференция «Медицинская физика и инновации в медицине» (ТКМФ-5): Сб. материалов. Всероссийская НК. Троицк. 2012. Т.2. С.437-439.
53. Агапов С.В. Фотограмметрия сканерных снимков. М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1996. 76 с.
54. Биорадиолокация/ Под ред. А.С. Бугаева, С.И. Ивашова, И.Я. Иммореева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. 396 с.

Для цитирования:

Кудрин К.Г., Римская Е.Н., Павлюкова О.Ю., Давыдов Д.В., Решетов И.В. Погрешности измерения параметров размеров, формы и цвета при автоматизированном скрининге пигментных новообразований кожи. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.12.7>