

Алгоритмы обнаружения маркёров на фациях биологических жидкостей человека

В.Р. Крашенинников^а, О.Е. Маленова^а, А.С. Яшина^б

^а Ульяновский государственный технический университет, 432027, ул. Северный Венец, 32, Ульяновск, Россия

^б ФНПЦ АО «НПО «Марс», 432010, ул. Солнечная, 20, Ульяновск, Россия

Аннотация

Один из эффективных методов ранней медицинской диагностики основан на анализе изображений фаций биологических жидкостей человека. Наличие особых структур (маркёров) свидетельствует о различных патологиях организма. В настоящей работе представлены алгоритмы обнаружения нескольких маркёров на изображениях фаций сыворотки крови. Сначала путём визуального анализа маркёров выявлялись их характерные признаки (расположение, геометрия, яркость, дисперсия, вариация и т.д.). Далее находились способы алгоритмического обнаружения этих признаков. Решение о наличии маркёра принималось, если имелась совокупность признаков данного маркёра. Испытания алгоритмов показали, что правильно идентифицированных изображений с различными маркёрами было 92-98% при 10-14% ложных тревог. Дано описание программного комплекса для автоматизированного анализа изображений фаций.

Ключевые слова: медицинская диагностика; фация биологической жидкости; маркёр; признаки маркёров; алгоритмы обнаружения и распознавания.

1. Введение

Ранняя медицинская диагностика в значительной мере определяет успешность профилактических и лечебных мероприятий. Один из эффективных методов ранней диагностики основан на анализе изображений фаций биологических жидкостей (БЖ) человека. Маленькая капля жидкости наносится на предметное стекло и высушивается при определённых условиях. При кристаллизации веществ высыхающей БЖ на получающейся плёнке (фации) возникают характерные структуры (маркёры), каждый из которых с достаточно высокой достоверностью является признаком патологий даже на самых ранних стадиях развития.

Метод исследования жидкостей путём их дегидратации и анализа кристаллизации содержащихся веществ имеет давнюю историю, сам термин «кристаллизация» введён ещё М.В. Ломоносовым. Первым теоретическое описание процесса испарения капли провел Д.К. Максвелл [1]. Л. Болен исследовал фации капиллярной крови и заметил связь между маркёрами на этих изображениях и желудочно-кишечными опухолями (тест Болена [2]). В настоящее время исследование фаций БЖ используется для диагностики заболеваний в онкологии, геронтологии, педиатрии, акушерстве, гинекологии и других областях медицины. Систематическое исследование диагностики по фациям БЖ ведётся В.Н.Шабалиным и С.Н. Шатохиной, они проанализировали большой материал, на основе которого получили статистические данные по кристаллическим структурам на фациях БЖ в норме и при патологии [3,4]. Очень подробный обзор работ по этой тематике можно найти в монографиях С.А. Краевого и Н.С. Колтового [5].

Следует отметить, что в подавляющей доле работ по фациям БЖ предполагается визуальный анализ изображений с применением различных приёмов, повышающих качество визуального восприятия: особое устройство микроскопов, добавки химреактивов в БЖ и т.д. Однако имеется значительно меньше работ по компьютерной обработке изображений фаций с помощью вычислительной техники, например, [6-12]. И даже среди этих работ обычно предлагаются методы нахождения зон изображения, подозрительных на наличие маркёров, например, в [10] для этой цели применяется вейвлет-анализ.

При массовых обследованиях населения требуется проанализировать большое количество изображений фаций. Навыками такого анализа владеет небольшое количество медицинского персонала. Кроме того, человек быстро устаёт и визуальный анализ становится некачественным. Поэтому актуальна задача разработки методов, алгоритмов и программ для автоматизированной обработки изображений фаций, введённых в компьютер. В настоящей работе представлены алгоритмы обнаружения нескольких характерных маркёров с достаточно высокой вероятностью обнаружения при малой вероятности ложных тревог [13-15].

Маркеры на фациях БЖ очень разнообразны по форме, размерам, ориентации и т.д., что и является главной трудностью их алгоритмического распознавания. Поэтому в настоящей работе использовался следующий подход к разработке алгоритмов распознавания. Сначала проводился визуальный анализ маркёров для выявления их характерных особенностей. После этого находились способы алгоритмического обнаружения этих особенностей на изображениях фаций. Решение о наличии маркёра принималось, если на участке изображения была обнаружена комбинация его характерных признаков.

Следует отметить, что окончательный диагноз пациенту может поставить только медицинский работник, а компьютерный анализ фаций является лишь вспомогательным. Его задачей является выявление изображений, на которых присутствуют те или иные маркёры. Поэтому не обязательно найти на изображении все маркёры данного вида, достаточно обнаружить хотя бы один из них и выдать сообщение об этом, что будет сигналом для оператора провести более тщательный анализ этого изображения. Фактически требуется из множества предъявленных изображений отобрать только содержащие интересующие маркёры. С этих позиций и производится оценка эффективности разрабатываемых алгоритмов.

2. Примеры изображений фаций биологических жидкостей

Рассмотрим несколько примеров изображений фаций сыворотки крови (ФСК). На рис. 1 приведены два изображения целой капли. При нормальном состоянии организма изображение имеет регулярную радиально-кольцевую структуру (физиологический морфотип). При наличии патологий регулярность структуры нарушается (патологический морфотип) и появляются патологические маркёры. Некоторые из них показаны на рис. 2 и 3.

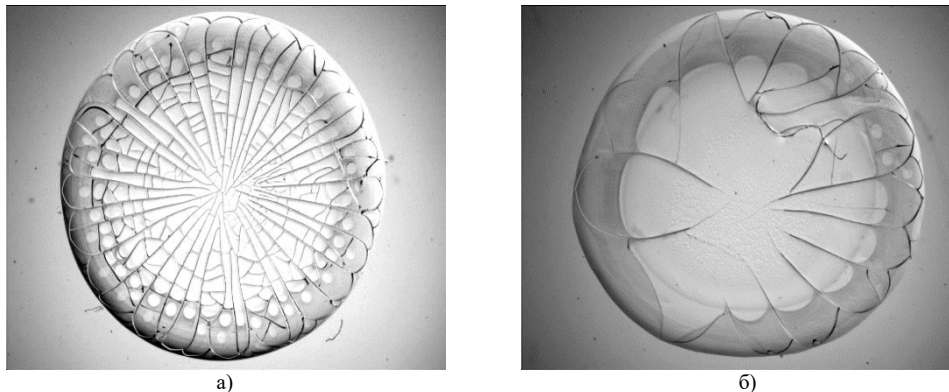


Рис. 1. Физиологический (а) и патологический (б) морфотипы фации.

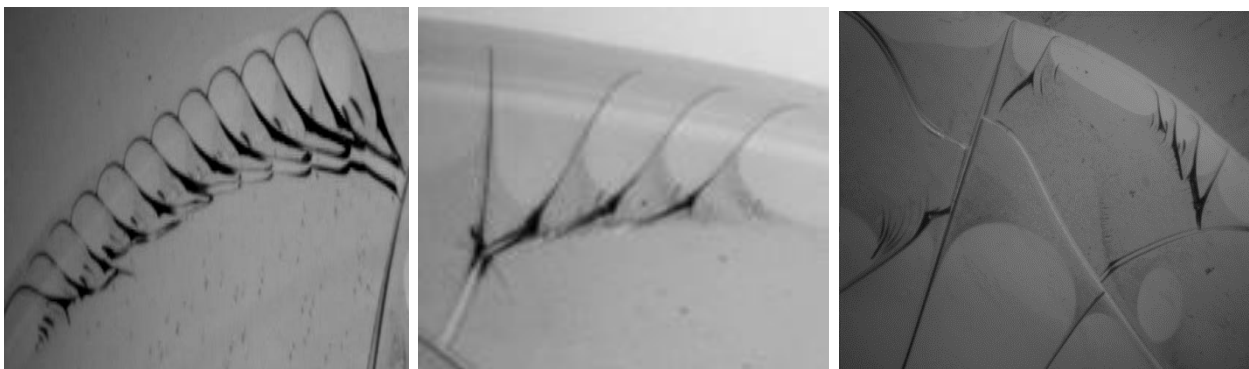


Рис. 2. Гребешковые структуры.

3. Предобработка изображения фации

Для каждого вида маркёров характерен ряд признаков, среди которых: расположение на поле изображения относительно трещин, составляющих скелет, локальная яркость и однородность. Поэтому сначала производится предобработка для выделения этих общих особенностей.

Скелет изображения и однородные области. Изображения фаций имеют радиально-кольцевую структуру, образованную крупными трещинами (длинными тёмными линиями). Выделение скелета производилось по признаку относительно большого (превосходящего порог) значения дисперсии яркости в скользящем окне. Из-за неоднородности изображения порог должен быть переменным в зависимости от локальной текстуры. Для его определения была применена одноконтурная адаптивная псевдоградиентная процедура [16]:

$$\lambda_{n+1} = \lambda_n + \mu \{q, \text{ если } G_n \geq \lambda_n; -p, \text{ если } G_n < \lambda_n\},$$

где λ_{n+1} – следующая за λ_n оценка порога; G_n – значение локальной дисперсии в скользящем окне; q – устанавливаемый порядок квантили дисперсии, то есть вероятность её непревышения порога; $p = 1 - q$; μ – постоянная, влияющая на величину шага процедуры. Порог здесь должен быть таким, чтобы только относительно большие значения дисперсии превосходили его, поэтому назначались большие порядки квантили ($q = 0.85, \mu = 0.01$, то есть только в 15% случаев допускалось превышение порога). Для обнаружения радиальных трещин на изображении ФСК применяется следующий метод. На изображении выделяются темные области с большой дисперсией. Выделяем границы данных областей и проверяем: является ли граница длинной плавной линией. Если да, то считаем данную область радиальной трещиной. Для нахождения однородных областей на изображении отмечались участки с малой дисперсией, поэтому назначался малый порядок квантили $q = 0.1$.

Сегментация изображения по яркости. Отличительным признаком некоторых маркёров является яркость, которая значительно меньше или больше средней яркости ближайшего окружения. Выделение таких областей производилось с помощью анализа гистограммы распределения яркостей.

Построение границы фации. Для различных маркёров характерно их особое расположение и ориентация по полю фации. Фация образуется из капли жидкости, что приводит к её овальной форме. Поэтому в первом приближении граница фации аппроксимировалась эллипсом. Далее граница уточнялась с помощью аппроксимированного псевдоградиентного фильтра Калмана [16].

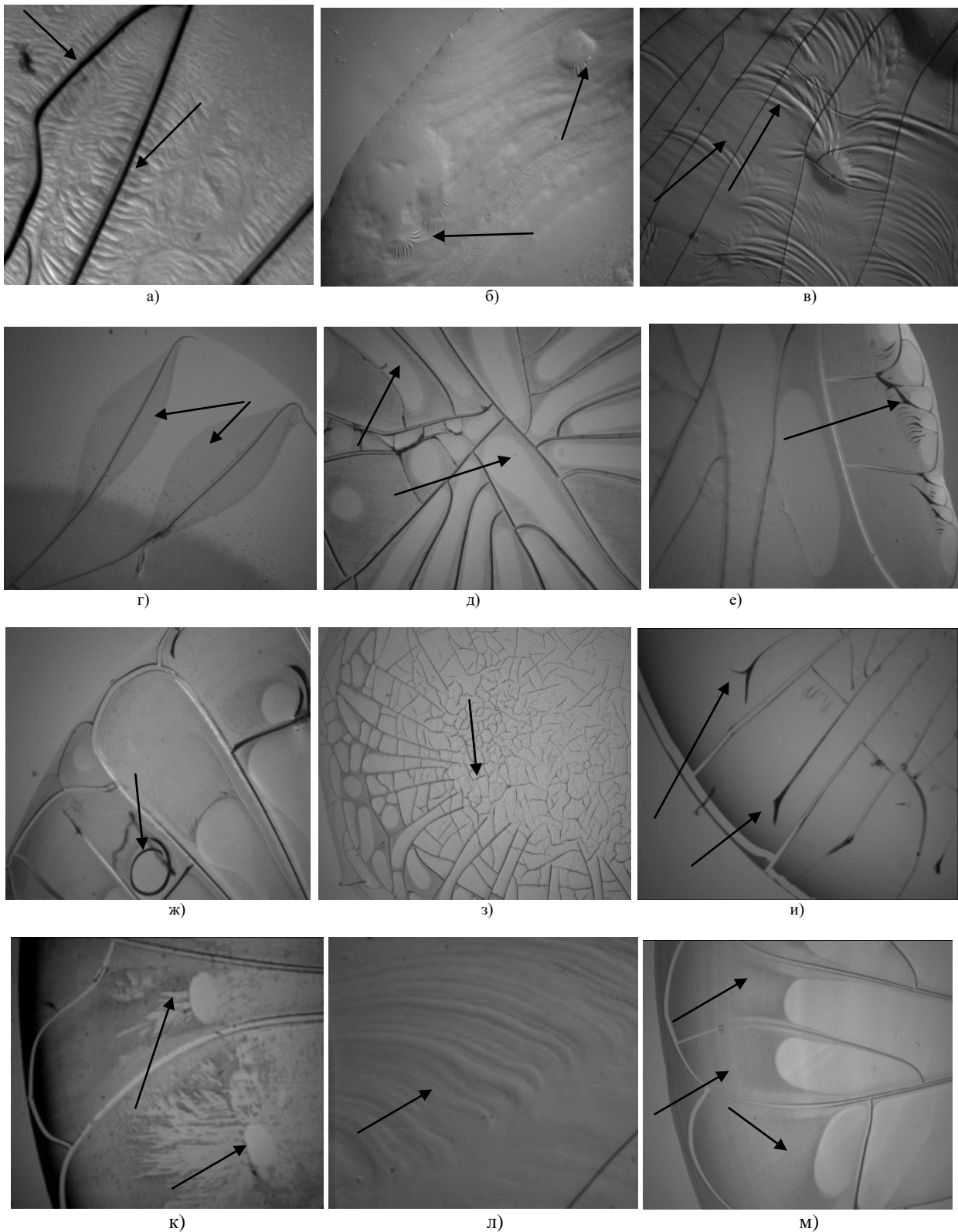


Рис. 3. Маркёры на фациях сыворотки крови: жгуты (а), бляшки (б), морщины (в), листья (г), воронкообразные структуры (д), трещины серебра (е), закрутки (ж), трёхлучевые трещины (з), У-образные трещины (и), языковые структуры (к), серповидные трещины (л), зернистость (м).

Определение морфологического типа. По морфотипу фации (рис. 1) можно оценить общее состояние организма. Признаком физиологического морфотипа является симметричное расположение радиальных трещин, когда осевые линии пересекаются в окрестности центра фации. Для проверки этого признака радиальные трещины аппроксимировались прямыми, находились точки их пересечения и определялось положение скользящего окна, в котором этих точек пересечения больше всего. Если это положение окна находилось вблизи центра фации, то принималось решение о физиологическом морфотипе, в противном случае – о патологическом. В проведённых испытаниях морфотип был правильно определён на 91 % фаций.

4. Алгоритмы обнаружения и распознавания маркёров

В работах по алгоритмическому исследованию фаций применялись самые различные методы обработки изображений (анализ гистограмм, средних значений и дисперсий, анизотропии, спектра и т.д.). Например, в [10] на базе вейвлет-анализа получены алгоритмы обнаружения зон изображения ФСК, подозрительных на присутствие маркёров, но без их распознавания.

Приведённые изображения показывают, что маркёры даже одного вида очень разнообразны по форме. Это особенно хорошо заметно на рис. 2 маркёра «гребешки». Высокая вариативность размеров и формы маркёров обусловила применение в [13,14] для их обнаружения и распознавания метода, состоящего в выделении системы признаков, комбинации которых соответствуют определённому маркёру. Рассмотрим подробно этот метод на примере распознавания одного из маркёров.

Зернистость (маркёр заболевания мочевого пузыря). У пациентов с нарушениями желчевыделения на изображениях ФСК имеется интенсивная пигментация с четкой зернистостью около конкреций, что хорошо заметно на рис. 4, представляющем увеличенный фрагмент рис. 3,м. Конкрециями называются протяжённые светлые области между тёмными длинными радиальными трещинами (рис. 1 и 3 д, ж, м).

Анализ большого количества изображений маркёров показал, что структуры имеют следующие особенности: 1) располагаются около конкреций; 2) имеют интенсивную пигментацию, следовательно, яркость значительно ниже яркости конкреций; 3) имеют четкую зернистость, следовательно, в данной области имеется повышенная дисперсия изображения. Визуальный анализ конкреций позволяет выделить следующие их общие особенности: 1) область внутри конкреций однородна и светлее окружающего фона; 2) на границе конкреций имеется небольшой перепад яркости; 3) граница конкреций близка к окружности или к слегка вытянутому эллипсу. Приведём алгоритм обнаружения этих маркёров, взяв для иллюстрации обработку изображения на рис. 3,м.



Рис 4. Маркёр «Зернистость».

Для нахождения однородных областей вычислим дисперсию исходного изображения ФСК в скользящем круге радиуса 6 пикселей. Для однородных областей характерно малое значение дисперсии яркости, поэтому отметим все пиксели круга, в котором значение дисперсии меньше некоторого порога. Отмеченные пиксели образуют множество O . Для определения точек, значение яркости в которых намного выше средней яркости всего изображения, строится гистограмма распределения яркостей всего изображения. Отметим множество L точек, яркости которых выше порога, равного 75-процентной квантили этого распределения.

Для определения однородных областей с яркостью выше окружающего фона найдём пересечение множеств L и O . Данное пересечение образует множество V . На рис. 5 представлен результат применения описанной процедуры к исходному изображению на рис. 3,м. Пиксели, входящие в множество V , показаны белым цветом.

Далее методом обхода контура находятся границы VO_i областей V_i , входящих в множество V . Незамкнутые границы из дальнейшего рассмотрения удаляются. Учитывая фактические размеры конкреций на исходных изображениях, не будем рассматривать области, количество пикселей в которых имеет очень малое или очень большое значение. Аппроксимируем найденные границы кривыми второго порядка с уравнениями вида

$$x^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0.$$

Совокупность найденных кривых образует множество \mathcal{E} . Форма конкреций близка к эллиптической, поэтому удалим из дальнейшего рассмотрения те кривые, которые не являются эллипсами. Для этого определим инварианты кривой второго порядка:

$$I_1 = C - B^2, \quad I_2 = \begin{vmatrix} 1 & B & D \\ B & C & E \\ D & E & F \end{vmatrix}, \quad I_3 = 1 + C.$$

Кривая второго порядка является эллипсом, если $I_1 > 0$ и $I_2 I_3 < 0$. Исключим из множества \mathcal{E} кривые, не обладающие этими свойствами. На рис. 6 показаны эллипсы, аппроксимирующие однородные области, обозначенные на рис. 5.

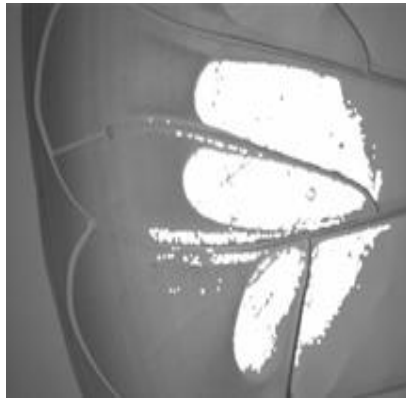


Рис. 5. Светлые области.

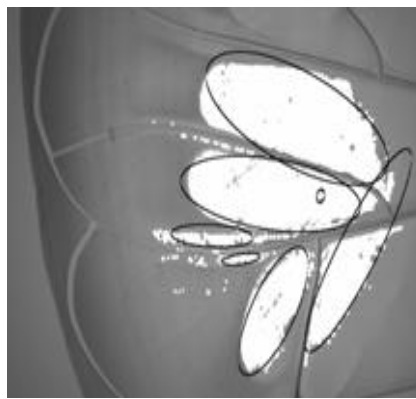


Рис. 6. Аппроксимирующие эллипсы.

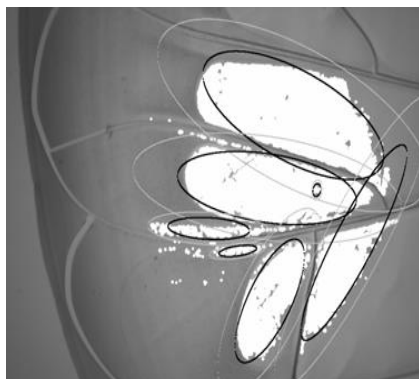


Рис. 7. Окрестности конкреций.

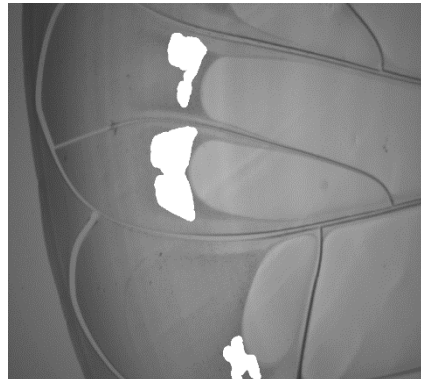


Рис. 8. Обнаруженные маркеры.

Для определения областей с интенсивной пигментацией сравним среднее значение яркости внутри обнаруженной конкреции со средним значением яркости в окрестности конкреции. Окрестностью конкреции будем считать область между двумя эллипсами, первый из которых – построенный аппроксимирующий эллипс \mathcal{E}_1 этой конкреции, а второй – подобный эллипс \mathcal{E}_2 с полуосями, в полтора раза большими. Эти эллипсы показаны на рис. 7 (\mathcal{E}_1 показан черным цветом, \mathcal{E}_2 - серым).

Обработаем окрестность конкреции скользящим кругом радиуса 100 пикселей. В каждом положении круга определим среднее значение яркости и количество пикселей с большим значением дисперсии (признак зернистости). Для определения пикселей с большим значением дисперсии обработаем исходное изображение без предварительного применения процедуры повышения контраста скользящим кругом радиуса 6 пикселей. В каждом положении этого круга вычислим дисперсию значений яркости. Для зернистости характерно большое значение дисперсии яркости, поэтому отметим все пиксели круга, в котором значение дисперсии больше назначенного порога, применяя его псевдоградиентную оценку. Отмеченные данным способом пиксели образуют множество D .

Следует учитывать, что большое значение дисперсии имеется и на радиальных трещинах фации. Поэтому исключим из множества D пиксели, принадлежащие радиальным трещинам.

Для окончательного определения маркера сравним с порогами, экспериментально подобранными, разность значений яркости в конкреции и в её окрестности и отношение количества точек множества D к количеству пикселей в скользящем круге. При удовлетворении этих условий принимаем решение о наличии на изображении ФСК маркера нарушения функции желчного пузыря. На рис. 8 представлен окончательный результат обработки. Области, подозрительные на наличие искомого маркера, отмечены белым цветом.

Для определения эффективности описанного алгоритма проведено сравнение визуального определения маркеров и результатов компьютерного обнаружения. В просмотренных 453 изображениях ФСК компьютерное обнаружение на 92,7% совпало с визуальным.

Поскольку алгоритмы обнаружения других маркеров были разработаны аналогичным образом, ниже приводится их краткий обзор.

Гребешки (рис. 2) представляют собой линейные трещины с отходящими от них по одну сторону мелкими трещинами, напоминающими форму гребешка. Эти структуры характерны при ангиоспазме и нарушении микроциркуляции. Характерные признаки: 1) всегда располагаются у границы фации; 2) имеют значительно меньшую яркость по сравнению с окружающим фоном; 3) состоят из нескольких тупоугольных треугольников; 4) длинные стороны треугольников приблизительно параллельны между собой; 5) треугольники находятся на небольшом расстоянии друг от друга; 6) фон между треугольниками относительно однороден. Вначале используется первый признак: находится граница фации и определяется прилегающая к ней окрестность, в которой и производится дальнейший поиск гребешковых структур. Среди областей с яркостью намного ниже окружающего фона нужно найти

тупоугольные треугольники. Для этого сначала выделяются граничные линии этих областей с помощью прослеживания контура. Далее ищутся приблизительно прямолинейные участки границы. Через эти участки проводятся аппроксимирующие прямые. Из множества этих прямых выбираются тройки попарно пересекающихся. При пересечении этих прямых образуется треугольник, углы которого находятся по теореме косинусов, и учитываются только тупоугольные треугольники. Следующим признаком является расположение треугольников тесными группами, поэтому расстояния между ними должны быть небольшими. За это расстояние принимается длина перпендикуляра, опущенного из вершины острого угла одного треугольника на длинную сторону соседнего треугольника. В конце производится проверка на однородность фона между треугольниками, показателем которой является небольшой разброс яркостей вдоль прямых между парами треугольников. В итоге остаются только те треугольники, которые удовлетворяют всем шести вышеперечисленным признакам.

Жгуты (рис. 3,а) представляют собой радиальные трещины с приподнятыми волнистым краями и являются признаком гипоксии головного мозга. Характерные особенности: 1) располагаются по обе стороны вдоль трещин; 2) являются множеством коротких слегка волнистых линий, расположенных перпендикулярно к трещине; 3) обладают ярко выраженной анизотропией. Для определения границ отростков коротких волнистых линий использован алгоритм Canny и проверка наличия высокой анизотропии: яркость изображения в районе боковых отростков быстрее изменяется в поперечном к ним направлении (вдоль трещины), чем в продольном. Степень анизотропии оценивается как отношение нормированной вариации V изображения по направлению её максимума к нормированной вариации v в поперечном направлении: $W=V/v$. Вариация по отрезку есть сумма модулей разностей яркостей в соседних точках отрезка. Если показатель анизотропии превышает порог, то принимается решение о наличии жгутов.

Морщины и токсические бляшки (рис. 3,б) представляют собой однородные округлые образования, обрамленные с одной стороны множеством коротких, слегка волнистых линий (отростков). Морщины (складчатости) (рис. 3,в) являются локальным смещением рельефа фации с образованием параллельных складок на её поверхности. Эти маркёры являются признаком интоксикации организма. Характерные особенности: 1) ярко выраженная анизотропия; 2) наличие однородного пятна (бляшки); 3) наличие коротких волосков (в случае бляшек волоски располагаются под разными углами, а в случае морщин – под одинаковыми). Бляшки и морщины отличаются от жгутов тем, что они не находятся вдоль трещин и их отростки не расположены двумя параллельными полосами. Морщины отличаются от бляшек отсутствием однородного пятна и тем, что волоски могут располагаться под одинаковыми углами друг к другу.

Листовидные структуры (рис. 3,г) являются признаками склеротических процессов, происходящих в кровеносных сосудах. Их признаками являются: 1) лепестки – это относительно крупные структуры, доходящие до периферии фации. Они располагаются на большом расстоянии от центра фации; 2) довольно симметричное расположение вдоль радиально направленных трещин; 3) лепестки темнее окружающего фона; 4) граничные точки листа характеризуются слабым перепадом яркости; 5) граница лепестка представляет собой дугообразную линию.

Воронкообразные структуры (рис. 3,д) представляют собой вытянутые однородные светлые области приблизительно эллиптической формы. Они свидетельствуют о высоком напряжении функциональных систем и защитных механизмов. Особенности: 1) форма границы близка к эллипсу, у которого большая полуось заметно больше малой; 2) внутренняя область однородна и светлее окружающего фона; 3) на границе имеется небольшой перепад яркости; 4) расположены между трещинами фации; 5) наблюдаются в центральной зоне фации. Граница однородной светлой области аппроксимируется эллипсом. Если его сжатость превышает порог и однородная область находится между радиальными трещинами, принимается решение о наличии воронки.

Трещины «серебра» (рис. 3,е) представляют собой ряд мелких, параллельных линейных тёмных трещин и свидетельствуют о нарушении эластичности сосудов. Особенности: 1) значительно меньшая яркость по сравнению с окружающим фоном; 2) они представляют собой некоторое количество темных линий, расположенных параллельно друг другу. Сначала находятся тёмные приблизительно параллельные линии. Если их количество в скользящем окне превышает порог, то принимается решение о наличии трещин серебра.

Трещины «закрутки» (рис. 3,ж), представляют собой тёмные спиралевидные линии, являются показателем высокой напряженности адаптационных механизмов гомеостаза. Характерные признаки: 1) значительно меньшая яркость по сравнению с окружающим фоном; 2) форма близка к окружности; 3) фон внутри закрутки относительно однороден. Находятся области с большой дисперсией и малым значением яркости. Границы этих областей аппроксимируются эллипсами. Форма трещины закрутки близка к окружности, поэтому учитываются эллипсы с малым сжатием. Если область внутри эллипса однородна, то принимается решение о наличии трещины закрутки.

Трёхлучевые трещины (рис. 3,з) являются показателем застойных явлений в организме, их особенности: 1) они представляют собой три отрезка небольшой длины, начинающиеся в одной точке и образующие между собой приблизительно равные углы; 2) значительно меньшая яркость по сравнению с окружающим фоном.

У-образные трещины на фациях цервикальной слизи (рис. 3,и) являются признаком предраковых заболеваний шейки матки. Особенности: 1) на границе трещины имеются резкие перепады яркостей; 2) в основании трещины лежит темная замкнутая область, представляющая собой тупоугольный треугольник; 3) трещины не располагаются группами, на фации может присутствовать от одной до нескольких трещин, разбросанных по всей фации и не имеющих видимых связей между собой. У-образные трещины имеют сходство с гребешками (рис 2), однако имеются и следующие отличия этих двух структур: 1) гребешки состоят из ряда тупоугольных треугольников, центры которых расположены на небольших расстояниях вдоль линии, а У-образные трещины расположены в хаотичном порядке на больших расстояниях; 2) гребешки располагаются всегда около границы фации между радиальными трещинами, а У-образные трещины могут располагаться как около границы, так и в центре фации, соприкасаясь со скелетом.

5. Статистические испытания алгоритмов

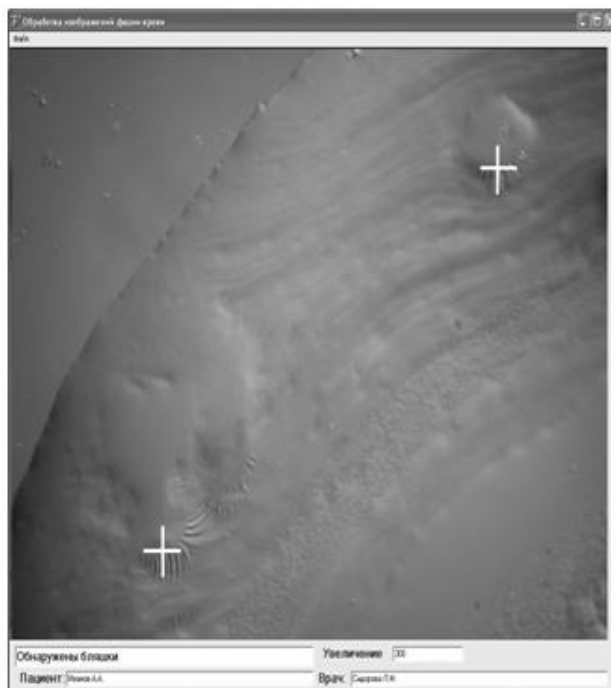
Описанные алгоритмы были испытаны на 2501 изображении. Результаты приведены в таблице 1. Правильно обнаруженных различных маркёров оказалось от 90.4% до 98.8%. Отметим, что маркёры встречаются в различных комбинациях друг с другом. Поэтому при диагностике достаточно отметить изображения, содержащие хотя бы один из имеющихся маркёров. Эти изображения (и пациенты) обязательно будут повторно проанализированы медицинским персоналом. Таких изображений было обнаружено 96% при 10% ложных обнаружений.

Таблица 1. Эффективность алгоритмов обнаружения маркёров

Маркёр	Процент изображений с обнаруженными и верно распознанными маркёрами	Процент изображений с ошибками в распознавании маркёров
Зернистость	92.70	8.50
Гребешковые структуры	92.41	12.01
Жгутовые трещины	98.72	6.96
Морщины	91.89	7.15
Бляшки	92.55	7.45
Листовидные структуры	91.48	9.34
Воронкообразные структуры	97.22	12.52
Трещины «серебра»	91.74	3.48
Трещины «закрутки»	90.41	3.06
Трёхлучевые трещины	91.67	5.98
Языковые структуры	95.45	9.86
У-образные трещины	98.81	7.12

6. Программный комплекс анализа изображений фаций

Для обработки изображений ФСК был составлен программный комплекс, выполненный в среде программирования Delphi 7 на языке высокого уровня Object Pascal. В описанных выше алгоритмах каждый маркёр распознаётся по характерному для него набору признаков. При этом некоторые признаки и процедуры обработки изображений входят в алгоритмы распознавания разных маркёров. Поэтому для сокращения времени обработки целесообразно не применять последовательно алгоритмы распознавания отдельных маркёров, а сначала сделать предобработку изображения, то есть выполнить процедуры, входящие во все алгоритмы обнаружения, а потом по выделенным признакам последовательно произвести распознавание всех маркёров.



Учреждение государственной формы собственности
ВНИИМ и **ФК**
 Клиника, лаборатория и диагностический
 Лаборатория функциональной диагностики
 Лаборатория
 Адрес: 430063, г. Ульяновск, III Интернациональная, 7,
 тел. (0422) 92-92-30, 32-90-15, факс (0422) 32-92-30

“ 08 ” 12 2011г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ф.И.О. Иванов А. А.

Клинический диагноз:

Морфологическая картина сыпоротки крови:

Состояние организма: физиологическое устойчивое
 - резерв адаптационных возможностей организма: высокий
 - признаки доброкачественной гиперплазии: есть

Состояние мозгового кровообращения:
 - нарушение микроциркуляции в ткани мозга и сердца: есть
 - ангиоспазм: есть

Рекомендовано: 1. Консультация терапевта

Врач

Сидорова М.Л.

Рис. 9. Интерфейс программного комплекса.

Входной информацией для программного комплекса является оцифрованное изображение фации. В случае обнаружения маркёров они соответственным образом отмечаются, и выдается текстовое сообщение об обнаружении. Также формируется медицинское заключение со списком возможных патологий в организме пациента и даётся рекомендация посещения соответствующих медицинских специалистов для более точной диагностики заболевания. На

рис. 9 показан пример обработки изображения фации, на котором отмечены обнаруженные токсические бляшки, на основании чего сделан проект медицинского заключения. Врач может внести коррективы и поставить свою подпись.

Обработка одного изображения в среднем занимала полминуты на ПК с рабочей частотой 3.4 ГГц. Этот комплекс показал свою работоспособность при апробации в медицинских учреждениях Ульяновска (ООО «Медицинский центр «Академия», кафедра акушерства и гинекологии УлГУ).

7. Заключение

В работе предложены алгоритмы обнаружения и распознавания нескольких маркёров на изображениях фаций сыворотки крови, являющихся признаками различных патологий, что используется для ранней медицинской диагностики. Обнаружение и распознавание производится по набору характерных признаков маркёров. Статистические испытания показали, что около 96% изображений с наличием на них маркёров были обнаружены при 10% ложных тревог. Скорость обработки – два изображения за минуту, что является достаточным для использования этих алгоритмов в медицинских учреждениях при массовых профилактических обследованиях населения.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-41-732041.

Литература

- [1] The Scientific Papers of James Clerk Maxwell. – Cambridge, 1890. – 211 p.
- [2] Bolen, H.L. The Blood Pattern as a Clue to the Diagnosis of Malignant Disease / H.L. Bolen // J Lab Clin Med. – 1942. – Vol. 27. – P. 1522-1536.
- [3] Шатохина, С.Н. Атлас структур неклочных тканей человека в норме и патологии: в 3 томах. Том II. Морфологические структуры сыворотки крови. Том 3 / С.Н. Шатохина, В.Н. Шабалин. – Москва-Тверь: Триада, 2013. – 240 с.
- [4] Шабалин, В. Н. Морфология биологических жидкостей человека / В.Н. Шабалин, С.Н. Шатохина. – М.: Хризостом, 2001. – 304 с.
- [5] Краевой, С.А. Диагностика по капле крови / С.А. Краевой, Н.А. Колтовой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://koltovoi.nethouse.ru> (2016).
- [6] Абдуманнонов, А.А. Разработка компьютерной программы и алгоритмов автоматической морфометрии фаций биожидкостей / А.А. Абдуманнонов, М.Т. Ботиров, М.К. Карабаев. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ttaff.uz/wp-content/uploads/2016/01.
- [7] Бузоверя, М.Е. Программно-аппаратный комплекс «Морфо» / М.Е. Бузоверя, И.В. Шишпор, В.И. Севастьянов, Н.В. Перова. – Саров: RFJC-VNPEF, 2011. – С. 254-255.
- [8] Ильясова, Н.Ю. Информационные технологии анализа изображений в задачах медицинской диагностики / Н.Ю. Ильясова, А.В. Куприянов, А.Г. Храмов. – М.: Радио и связь, 2012. – 424 с.
- [9] Лукашевич, М.М. Анализ изображений биологических жидкостей / М.М. Лукашевич // Вестник фонда фундаментальных исследований. – 2013. – № 3. – С. 94-105.
- [10] Макаревич, В.Е. Методы клиновидной дегидратации биологических жидкостей / В.Е. Макаревич, Е.А. Кириленко, В.А. Петрашенко, Т.Ю. Заблочкая, Т.А. Билоконь // Морфология. – 2014. – Т. 8(1). – С. 113-117.
- [11] Петров, В.О. Автоматизация анализа растровых изображений твердой фазы биологической жидкости медико-биологических препаратов. Диссертация кандидата технических наук/ В.О. Петров. – Волгоград: ВГТУ, 2009. – 150 с.
- [12] Погодин, С.В. Автоматическая постановка диагноза по анализу медицинских снимков / С.В. Погодин // Сборник научных трудов 1-ой Международной телеконференции "Проблемы и перспективы современной медицины, биологии и экологии". – Томск: Сибирский государственный медицинский университет. – 2010. – Том 1. – № 1. – С. 71. <http://www.tele-conf.ru/>
- [13] Krashenninnikov, V.R. Identification of Pectinate Structures in Images of Blood Serum Facia/V.R. Krashenninnikov, A.S. Kopylova // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2011. – Vol. 21(3). – P. 508-510.
- [14] Krashenninnikov, V.R. Algorithms for Automated Processing Images Blood Serum Facies /V.R. Krashenninnikov, A.S. Kopylova // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2012. – Vol. 22(4). – P. 583-592.
- [15] Крашенинников, В.Р. Алгоритм обнаружения языковых структур на изображениях фаций сыворотки крови / В.Р. Крашенинников, Л.И. Трубникова, М.Л. Албутова, А.С. Копылова, А.В. Тарасова // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2013. – № 4. – С. 70-73.
- [16] Васильев, К.К. Статистический анализ изображений / К.К. Васильев, В.Р. Крашенинников. – Ульяновск: Издательство Ульяновского государственного технического университета, 2014. – 216 с.