

Алгоритм обнаружения блоковидных трещин на фациях биологических жидкостей человека

В.Р. Крашенинников¹, Л.И. Трубникова², О.Е. Маленова¹, А.С. Яшина³,
М.Л. Албутова², О.А. Маринова²

¹Ульяновский государственный технический университет, ул. Северный Венец, 32, Ульяновск, 432027, Россия

²Ульяновский государственный университет, ул. Льва Толстого, 42, Ульяновск, 432017, Россия

³ФНПЦ АО «НПО «Марс», ул. Солнечная, 20, Ульяновск, 432010, Россия

Аннотация. Один из эффективных методов ранней медицинской диагностики основан на анализе изображений фаций (тонких плёнок) высушенных биологических жидкостей человека. Наличие особых структур (маркёров) свидетельствует о различных патологиях организма на самых ранних их стадиях. Для ускорения и удешевления массовых обследований населения требуется создание алгоритмов, позволяющих обнаруживать маркёры на изображениях фаций, введённых в компьютер. В настоящей работе представлен алгоритм обнаружения маркёра «блоковидная трещина» на изображениях фаций фолликулярной жидкости, получаемой при пункции в процессе ЭКО. Этот маркёр свидетельствует о гипоксических и ишемических поражениях головного мозга. При разработке этого алгоритма сначала путём визуального анализа маркёра выявлялись его характерные признаки. Далее находились способы алгоритмического обнаружения этих признаков. Решение о наличии маркёра принималось, если имелась совокупность его признаков. При испытаниях этого алгоритма было обнаружено 86% изображений, содержащих эти маркёры, при 11% ложных тревог.

1. Введение

Разработка алгоритмов автоматизированного анализа изображений фаций биологических жидкостей (БЖ) представляет интерес по ряду причин. С одной стороны, интенсивно изучаются процессы, протекающие при высыхании капель различных БЖ (слюна, плазма крови, ликвор, моча и др.), что может давать дополнительную информацию при диагностике заболеваний и производить раннюю диагностику при отсутствии видимых симптомов, позволяя начать лечение на самых ранних стадиях заболеваний. С другой стороны, этот метод относится к группе неинвазивных методов исследования, что особенно актуально при диагностике заболеваний у новорожденных и недоношенных детей. Кроме того, достигаемое ускорение и удешевление анализа изображений позволяет проводить массовые профилактические обследования населения, способствуя повышению качества здравоохранения.

Исследование жидкостей путём их дегидратации и анализ особенностей кристаллизации содержащихся в них веществ имеют большую историю. Первое теоретическое описание процесса испарения капли провел Д.К. Максвелл [1]. В области медицины исследования капель БЖ провел Л. Болен, он с помощью простого оптического микроскопа исследовал фации капиллярной крови и выявил связь между структурами на этих изображениях и желудочно-кишечными опухолями [2]. В цикле работ В.Н. Шабалина и С.Н. Шатохиной (например, [3, 4]) проанализированы особенности кристаллических структур БЖ и их многочисленные связи с патологиями. Обширная библиография по исследованию БЖ содержится в книге С.А. Краевого и Н.С. Колтового «Диагностика по капле крови, кристаллизация биожидкостей» [5]. В настоящее время метод клиновидной дегидратации БЖ используется для диагностики заболеваний в онкологии, геронтологии, педиатрии, акушерстве, гинекологии и других областях медицины. Однако большинство этих работ нацелено на выявление маркёров патологий и улучшение визуального восприятия: модернизация микроскопов, добавка химических реактивов в БЖ и т.д. Значительно меньше имеется работ по компьютерной обработке уже полученных снимков фаций [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. Алгоритмы обнаружения нескольких маркёров представлены в работах [13-20].

В настоящей работе представлен алгоритм нахождения маркёра блоковидная трещина, который свидетельствует о наличии выраженных структурных изменений в тканях, гипоксических и ишемических поражениях головного мозга.

2. Алгоритм обнаружения блоковидных структур

Для разработки алгоритма обнаружения маркёра сначала были выявлены его основные признаки, которые отличали бы его от основной структуры фации и других маркёров.

2.1. Описание маркёра

Чаще всего термин «блоковидный» используется для обозначения типа сустава. Блоковидный (шарнирный) сустав (art. trochlearis), или гинглим (ginglymus) образуется частью блока, цилиндра или усеченного конуса на одной кости и соответствующим по форме углублением на другой [21]. Он схематически изображен на рисунке 1. Где слева приведена схема блоковидного сустава, а справа его максимально упрощенная до геометрических примитивов схема, которая уже больше похожа на искомый маркёр на изображениях фаций.

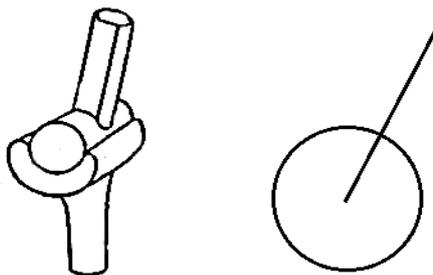


Рисунок 1. Схема блоковидного сустава.

На рисунках 2-6 представлены изображения фации здорового человека и фаций с блоковидными структурами. Маркёр узнается по длинной трещине, один конец которой заключён в овале. Трещины фации выглядят на изображениях как тёмные линии, иногда двойные. Как видно из рисунков, маркёр имеет множество вариантов формы. На конце длинной трещины может быть замкнутая круглая или овальная трещина, или незамкнутая дуговидная трещина. Эти маркёры появляются на концах радиальных трещин (длинных разломов, направленных, как правило, в центр фации). Исключением могут являться некоторые патологические состояния, когда линия пересечения радиальных трещин смещается от центра фации. Радиальные трещины хорошо видны на рисунке 3.

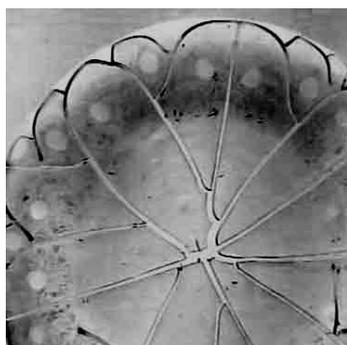


Рисунок 2. Фация крови здорового человека.



Рисунок 3. Блоковидные структуры.

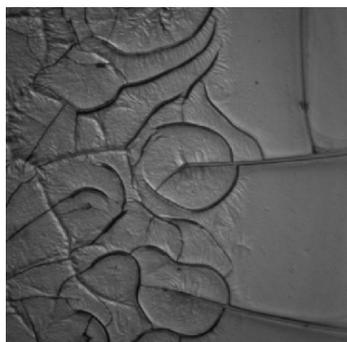


Рисунок 4. Блоковидные структуры.

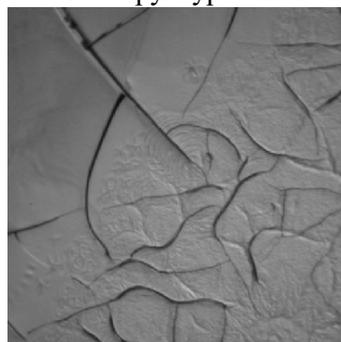


Рисунок 5. Блоковидные структуры.

2.2. Схема алгоритма поиска маркёра по его признакам

По описанным выше признакам был составлен алгоритм, состоящий из следующих этапов.

- **Подготовка изображения к обработке.**
- **Сегментация изображения по яркости для выделения трещин.**
- **Выделение контуров.**
- **Поиск радиальных трещин.**
- **Поиск округлых трещин**, пересекающих радиальные.
- **Принятие решения о наличии маркёра.** Если на изображении обнаружено пересечение радиальной трещины с дугой или эллипсом, то принимается решение о наличии маркёра на изображении.

3. Описание алгоритма

Рассмотрим этапы работы предлагаемого алгоритма на примере обработки изображения фации, представленного на рисунке 6.

3.1. Подготовка изображения к обработке

При запуске программы в память загружается цветное изображение. В нашем случае цвета маркёра не несут никакой важной информации, поэтому все изображение переводится в градации серого (рисунок 6). После этого проводится фильтрация от случайных шумов с помощью медианного фильтра, что позволяет уменьшить количество ложных контуров.

3.2. Сегментация изображения по яркости

Трещины темнее, чем основной цвет фации. Для их выделения находится средняя яркость изображения и выделяются все его части, яркость которых ниже средней. Участки с яркостью выше средней из дальнейшего рассмотрения удаляются (рисунок 7).



Рисунок 6. Загруженное изображение в градациях серого.

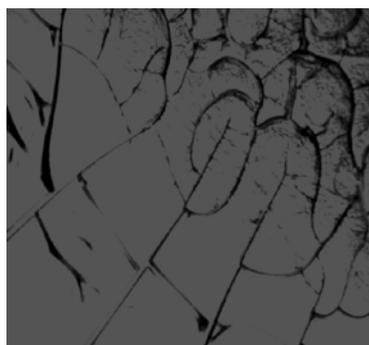


Рисунок 7. Результат пороговой сегментации.

3.3. Выделение контуров

Для выделения контуров был выбран алгоритм Canny [22], результат применения которого к рисунку 7 показан на рисунке 8. Для выделения границ этим методом экспериментально подобраны значения для двух порогов фильтрации: порог минимума 100 и порог максимума 180. Они определяют значимость граничных точек, если значение градиента на данном фрагменте ниже минимального порога, то граница считается несущественной. Если же на фрагменте границы нет ни одного значения выше максимального порога, то он удаляется. Заметно, что имеется много посторонних, ненужных нам контуров (коротких и неовальных). Поэтому с помощью попиксельного обхода контура оставим только границы достаточной длины. Эмпирически вычисленный порог - 50 пикселей. Обход реализован с помощью алгоритма «Жука» [23]. Результат представлен на рисунке 9.

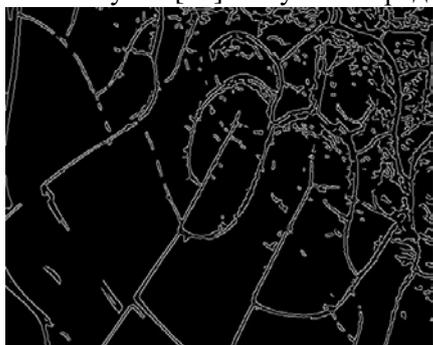


Рисунок 8. Результат работы алгоритма Canny.



Рисунок 9. Результат удаления лишних контуров.

3.4. Поиск радиальных трещин

На полученном в ходе выделения контуров изображении легко найти длинные приблизительно прямолинейные трещины. Для этого было использовано преобразования Хафа [24]. С его помощью были найдены достаточно длинные прямые, которые можно отнести к радиальным трещинам. Эмпирически установлено, что при увеличении $\times 400$ длина радиальной трещины превышает 150 пикселей. Найденные радиальные трещины показаны на рисунке 10 синим цветом.

3.5. Поиск округлых трещин

Поскольку формы нашего маркёра сильно различаются и далеко не каждый может представлять собой эллипс, то было принято решение использовать алгоритм, построенный на поиске дуг на изображении, описанный в [25] и основанный на следующей идее. Линия, которая может быть потенциальным кандидатом на дугу, должна иметь на своём протяжении одинаковое направление поворота (влево или вправо), а угол между последовательными

отрезками должны попадать в определенный доверительный интервал (рисунок 11). Если угол слишком мал, то отрезки считаются коллинеарными, поэтому они не могут быть частью дуги. Если же угол слишком велик, предполагается, что линии являются частью контура другого объекта другого типа (квадрат, прямоугольник и т.д.). В нашем случае экспериментально был выбран доверительный интервал угла поворота от 6 до 60 градусов. Поскольку обход идет в конкретном направлении, то части дуги будем рассматривать как векторы (рисунок 12), а угол между ними определим из соотношения:

$$\theta_i = \arccos\left(\frac{\overline{v_{i+1} v_i}}{|v_{i+1}| |v_i|}\right).$$



Рисунок 10. Результат поиска радиальных трещин.

На рисунке 13 красным цветом показаны обнаруженные дуги.

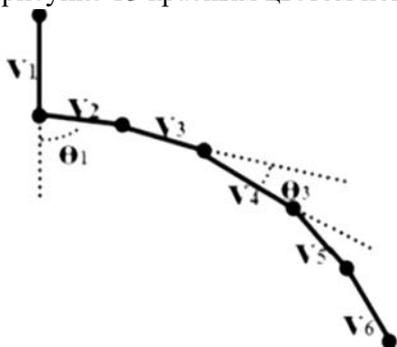


Рисунок 11. Расположение отрезков дуги.

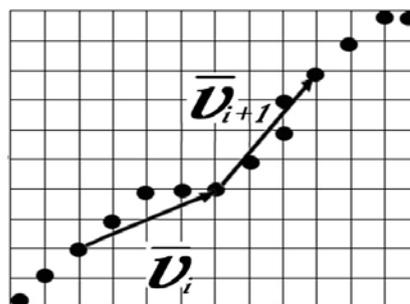


Рисунок 12. Векторы на линии.

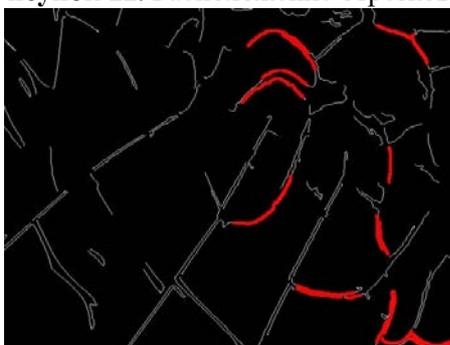


Рисунок 13. Найденные дуги.

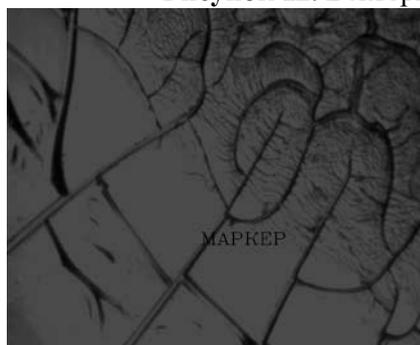


Рисунок 14. Обнаруженный маркер.

3.6. Принятие решения

Если дуга допустимой длины пересекает найденную ранее радиальную трещину под углом, близком к прямому, то принимается решение о наличии блоковидной трещины на изображении фации. На рисунке 14 надписью обозначен найденный маркер.

4. Результаты испытаний алгоритма

Целью обработки изображений фаций является выявление изображений, на которых имеются искомые маркёры (в нашем случае – блоковидные трещины). При этом не обязательно обнаружить все маркёры этого вида, достаточно указать, что такие маркёры (хотя бы один) имеются. Поэтому при испытаниях описанного алгоритма считалось, что обнаружение произошло, если хотя бы одна блоковидная трещина обнаружена на изображении, на котором они имеются. Алгоритм был испытан на 300 изображениях фаций сыворотки крови пациентов, обследованных на медицинском факультете Ульяновского государственного университета. В результате испытаний было правильно идентифицировано 86% изображений, на которых имелись искомые маркёры. Для нахождения вероятности ложных тревог этим алгоритмом были обработаны изображения фаций, на которых данный маркёр отсутствует. Оказалось, что на 11% таких изображений были сделаны ложные обнаружения структур, несколько похожих на искомый маркёр. Это говорит о том, что в дальнейшем целесообразно расширить набор признаков данного маркёра для более точной его идентификации.

5. Выводы

В результате данного исследования создан алгоритм и программное средство для автоматизированного нахождения изображений фаций с подозрением на наличие маркёра «блоковидная трещина» и отсева изображений без этого маркёра. В результате испытаний было правильно идентифицировано 86% изображений, на которых они присутствовали эти маркёры. На 11% изображений без этого маркёра были сделаны ложные обнаружения структур, несколько похожих на искомый маркёр. Это свидетельствует о том, что в дальнейшем целесообразно расширить набор признаков данного маркёра для более точной его идентификации. Следует отметить, что среди изображений из списка ложных тревог присутствовали другие маркёры, которые являются своего рода «подозрительными участками», поиск которых тоже входит в задачи алгоритмов обнаружения маркёров.

6. 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 / 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: tfaff.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-VNIEF. – 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. Заблоцкая, 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. – Т. 1, № 1. – С. 71.
- [13] Krasheninnikov, V.R. Identification of Pectinate Structures in Images of Blood Serum Facia / V.R. Krasheninnikov, A.S. Kopylova // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2011. – Vol. 21(3). – P. 508-510.
- [14] Krasheninnikov, V.R. Algorithms for Automated Processing Images Blood Serum Facies / V.R. Krasheninnikov, 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] Крашенинников, В.Р. Обнаружение серповидных трещин на изображениях фаций цервикальной слизи женщины / В.Р. Крашенинников, Л.И. Трубникова, М.Л. Албутова, А.С. Копылова, А.В. Тарасова // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2013. – № 4. – С. 81-85.
- [17] Крашенинников, В.Р. Алгоритм обнаружения маркера заболевания желчного пузыря на изображениях фаций сыворотки крови / В.Р. Крашенинников, Л.И. Трубникова, М.Л. Албутова, А.С. Яшина // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2015. – № 4. – С. 104-110.
- [18] Krasheninnikov, V.R. Markers detection on facies of human biological fluids / V.R. Krasheninnikov, O.E. Malenova, A.S. Yashina // Procedia Engineering. - 2017. - 201. – P. 312-321.
- [19] Крашенинников, В.Р. Алгоритмы обнаружения маркёров на фациях биологических жидкостей человека / В.Р. Крашенинников, О.Е. Маленова, А.С. Яшина. – Сборник трудов III Международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2017). - Самара: Новая техника. – С. 655-662.
- [20] Krasheninnikov, V.R. Algorithms of crescent structure detection in human biological fluid facies / V.R. Krasheninnikov, O.E. Malenova, A.S. Yashina // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2017. - Vol. XLII-2/W4. – P. 169-172.
- [21] Воробьев, В. П. Атлас анатомии человека / В.П. Воробьев. – Ленинград: Медгиз, 1940. – Т. 1. – 382 с.
- [22] Canny, J. A Computational Approach to Edge Detection / J. Canny // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 1986. – Vol. 6. – P. 679-698.
- [23] Потапов, Н.Н. Методы выделения контуров на изображениях / Н.Н. Потапов, П.А. Тупиков // 8-я международная конференция Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии. – 2007. – С. 105–108.
- [24] Ballard, D.H. Generalizing the Hough transform to direct arbitrary shapes / D.H. Ballard // Pattern Recognition. – 1981. – Vol. 13. – P. 111-122.
- [25] Akinlar, C. EDCircles: A real-time circle detector with a false detection control / C. Akinlar, C. Topal // Pattern Recognition. – 2013. – Vol. 46. – P.725-740.

Algorithm for detecting block-like cracks in facies of human biological fluids

V. Krashennikov¹, L. Trubnikova², O. Malenova¹, A. Yashina³, M. Albutova², O. Marinova²

¹Ulyanovsk State Technical University

²Ulyanovsk State University

³Research-and-Production Association "Mars"

Abstract. One of the effective methods of early medical diagnosis is based on the analysis of images of facies (thin films) dried human biological fluids. The presence of special structures (markers) indicates various pathologies of the organism at their earliest stages. In this paper we present an algorithm for detecting the marker "block-like crack" on images of follicular fluid facies. This marker indicates hypoxic and ischemic brain lesions. First, through the visual analysis of the marker, its characteristic features were revealed. Then the methods of algorithmic detection of these features were developed. The decision about the presence of the marker was taken if there was a set of characteristics of the marker. In testing this algorithm, 86% of markers were detected with 11% of false alarms.

Keywords: medical diagnostics, facies of biological fluid, image, marker feature, detection and recognition, algorithm.