

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МОРФОЛОГИИ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ

Т. В. Бернадская, к. т. н. К. В. Колесник, к. т. н. А. А. Водка,
д. т. н. Р. С. Томашевский

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»
Украина, г. Харьков
kolesniknet@ukr.net

Рассмотрена возможность создания современных биометрических средств контроля морфологии эритроцитов на основе совершенствования оптических методов лабораторной диагностики с применением математических методов обработки полученных изображений.

Ключевые слова: электронная оптика, интерференционное изображение микрообъектов, медицинская диагностика, морфология эритроцитов.

В настоящее время исследования микро- и наночастиц постоянно совершенствуются благодаря современным компьютерным технологиям и использованию методов математической обработки полученных изображений. Однако значительный вклад в решение подобных задач может внести и совершенствование применяемых при этом оптических средств и методов. Примером такого комплексного подхода к проблеме повышения качества определения геометрических параметров микрочастиц может служить предложенный авторами метод интерференционной микроскопии прозрачных микрообъектов, описанный в данной работе. В качестве объекта исследований выбраны эритроциты крови, форма и размеры которых могут дать дополнительную диагностическую информацию при лабораторных диагностических исследованиях [1, 2].

Предлагается использовать метод интерференционной микроскопии с дополнительной компьютерной обработкой для построения трехмерного изображения микрообъектов [3]. Компьютерная интерференционная микроскопия позволяет получить высококонтрастное изображение при наблюдении субклеточных структур. Принцип действия автоматизированного интерференционного микроскопа основан на интерференции световых пучков лазерного излучения. Интерференция световых волн получается путем разделения монохроматического пучка света на два пучка - предметный и опорный, с последующим наложением их друг на друга. В предметном пучке располагается микроскоп, обеспечивающий многократное увеличение микрообъекта. Фиксация изображения происходит с помощью цифровой камеры высокого разрешения. В результате получают два изображения: интерференционная картина без объекта и интерференционная картина с объектом исследования, а затем эти две картины накладывают друг на друга [4, 5].

Разработанная авторами экспериментальная установка (рис. 1, а) [3—5] позволила получить интерференционную картину эритроцита высокого качества (рис. 1, б), что позволяет описать морфологию эритроцита математическими методами.

Согласно [6] в случае интерференции двух лучей, обобщенные параметры изображения могут быть описаны формулой:

$$I(x, y) = a(x, y) + b(x, y) \cos(\varphi(x, y)), \quad (1)$$

где x, y — координаты объекта;

$a(x, y)$ — значение обобщенного параметра изображения;

$b(x, y)$ — амплитудная модуляция изображения.

Для получения полезной информации от исходного изображения (рис. 2, а), в выражении (1) необходимо выделить значения функции $b(x, y)$, что осуществляется путем использования преобразования Фурье. В общем случае получаемое значение параметров изображения I_{jk}^* является комплекс-

ным числом, что позволяет по известным соотношениям рассчитать его модуль и фазу [6, 7], а это в свою очередь дает дополнительные возможности их анализа, а также проводить его восстановление по обработанным данным (рис. 2, б).

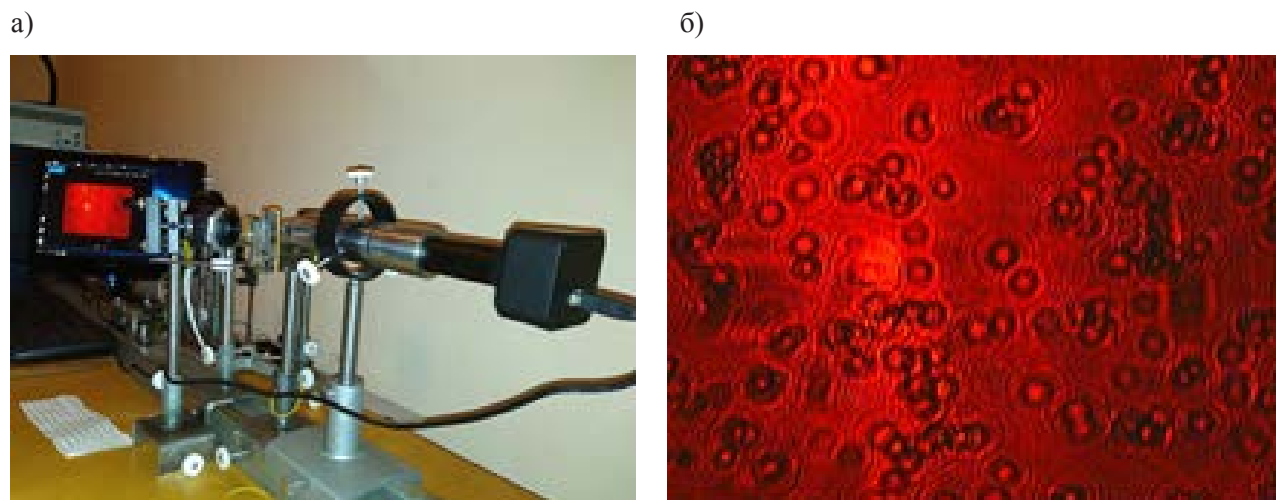


Рис. 1. Экспериментальная установка (а) исследования динамики морфологии эритроцитов крови и полученное изображение эритроцитов (б)

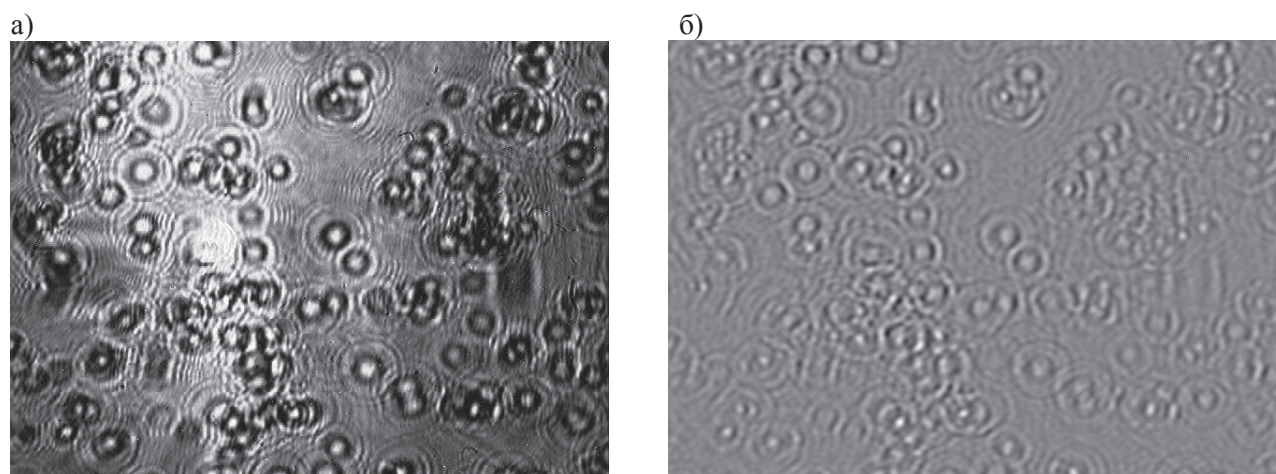


Рис. 2. Математическая обработка исходного (а) и восстановленного (б) изображения эритроцитов

Однако восстановленные трехмерные поверхности содержат артефакты восстановления, связанные с особенностями проведения процесса съемки, шумом матрицы камеры, которые могут быть удалены на последующих этапах путем применения классических методов обработки изображений в пространственной области, например Гауссова сглаживания.

Полученные результаты указывают на возможность упрощения процесса восстановления геометрической модели объектов голографической интерферометрии путем использования специальных масок.

Для конкретного применения в медицинской лабораторной диагностике рассмотренный усовершенствованный метод интерференционной голографии с использованием математической обработки ее результатов позволяет повысить качество определения состояния плазматических мембран эритроцитов крови для оценки возможных патологий. Применение данного метода позволит значительно повысить качество лабораторной диагностики биологических микрообъектов при значительном снижении затрат на лабораторные исследования.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бархоткина Т.М., Бернадская Т.В., Томашевский Р.С. 3-D морфология эритроцитов и способ ее реализации // Материалы I международной научно- технической конференции: Актуальные проблемы автоматике и приборостроения». — Украина, Харьков. — 2017. — С. 43—44.
2. Долгов В.В., Луговская С.А., Морозова В.Т., Почтарь М.Е. Лабораторная диагностика анемий // М.: Тверь. «Триада», 2009.
3. Kolisnyk K., Sokol Ye., Tomashevskiy R., Bernadskaya T. Improving the Method of Interference Holography to Determine the State of Plasma Membranes. // IEEE 39-th International Conference on Electronics and nanotechnology ELNANO-2019. — Ukraine, Kyiv.— 2019. — P. 159–163.
4. Заявка № u201904632 от 02.05.2019 на выдачу патента Украины на полезную модель. Микроскоп для получения трехмерного изображения микрообъектов, преломляющих свет / Сокол Е.И., Бернадская Т.В., Колесник К.В., Томашевский Р.С.
5. Заявка № u201907638 от 08.07.2019 на выдачу патента Украины на полезную модель. Интерференционный голографический микроскоп с автоматизированной сменой увеличений и улучшенными оптико-техническими характеристиками / Сокол Е.И., Бернадская Т.В., Колесник К.В., Томашевский Р.С.
6. Peck Michael. Interferometry mathematics, algorithms, and data // 2010. <https://www.semanticscholar.org/paper/Interferometry-mathematics-%2C-algorithms-%2C-and-data-Peck/57eca99fc3d305c836f3be2eba34f3484f3f8bb9>
7. Rivenson Y., Zhang Y., Günaydin H., Teng D., Ozcan A. Phase recovery and holographic image reconstruction using deep learning in neural networks // Light: Science & Applications.— 2018.— Vol. 7, iss. 2.— P. 17141–17141.

T. V. Bernads'ka, K. V. Kolisnyk, O. O. Vodka, R. S. Tomashevskiy

Improving optical methods for morphological analysis of red blood cells

The morphology of red blood cells changes with many hematological diseases and syndromes. Using morphological studies to obtain additional diagnostic features can significantly improve the quality of medical diagnostics. The authors consider the possibility of creating modern biometric means for monitoring the erythrocyte morphology based on improving the optical methods of laboratory diagnostics using mathematical methods for processing the obtained images.

Keywords: electronic optics, interference image of microobjects, medical diagnostics, erythrocyte morphology.
