

07;12

Применение техники счета числа мерцаний спеклов для изучения биологической активности кожи

© А.П. Владимиров, А.Л. Лисин, В.И. Микушин,
М.М. Кохан, И.А. Куклин, Е.В. Кононенко

Институт машиноведения УрО РАН,
Уральский институт дерматовенерологии и иммунопатологии,
Уральский государственный технический университет, Екатеринбург

Поступило в Редакцию 22 сентября 1999 г.

Представлены результаты наблюдения в реальном времени динамики спеклов, вызванной биологическими процессами в коже.

1. Введение. В литературе существуют данные об исследованиях динамики биоспеклов, вызванной биологической активностью клеток во фруктах [1] и движением микроорганизмов [2]. Динамика спеклов, вызванная сканированием лазерного луча по поверхности кожи, использовалась для изучения ее шероховатости [3]. В работе [4] импульсный пикосекундный лазер был использован для наблюдения картины спеклов в плоскости изображения участка кожи руки человека. Было обнаружено, что с течением времени картина спеклов частично меняется.

В настоящей работе приведены первые результаты наблюдения авторами динамики биоспеклов в свободном поле, сформированных лазерным излучением, рассеянным на участке кожи человека. Для количественного анализа использовалась техника счета числа мерцаний спеклов, примененная в ряде работ [5–7]. Предложена методика разделения вкладов двух процессов, оказывающих влияние на динамику спеклов: биопроцессов в клетках и неконтролируемого перемещения руки человека. Приведены результаты опробования методики на здоровых и пораженных болезнью участках кожи.

2. Техника и результаты эксперимента. Техника и методика эксперимента подробно описаны в работе [8]. Схема использованной в работе оптической установки приведена на рис. 1. В работе использо-

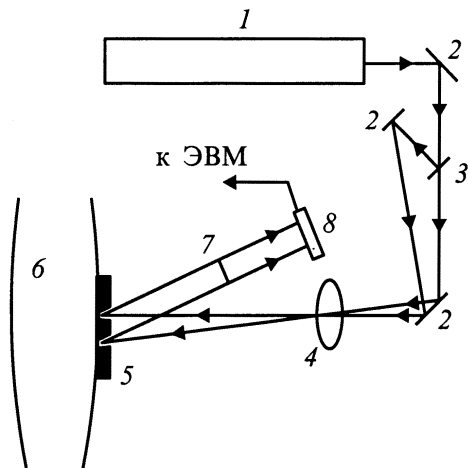


Рис. 1. Схема оптической установки: 1 — лазер, 2 — зеркала, 3 — полупрозрачное зеркало, 4 — линза, 5 — держатель с двумя отверстиями, 6 — объект, 7 — экран, 8 — ФДЛ.

вался гелий-неоновый лазер ЛГ-38М с длиной волны $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ и мощностью 50 mW. Для ограничения движения руки пациентов был изготовлен специальный фиксатор руки. Луч лазера 1 с помощью полупрозрачного зеркала 3 разделяли на два луча, сфокусированные линзой 4 лучи через два отверстия диаметром 0.5 mm в корпусе фиксатора руки 5 освещали два участка кожи. На один из участков кожи резиновым клеем прикрепляли непрозрачную для излучения бумагу. Участки плотно прижимались к отверстиям фиксатора. Рассеянные от двух участков пучки попадали на два участка фотодиодной линейной (ФДЛ) 8. В работе была использована фотодиодная линейка ЛФ1024-25/1, содержащая 1024 фоточувствительных элемента размером $24 \times 25 \mu\text{m}$, разделенных промежутком в $1 \mu\text{m}$. Условия освещения объекта и наблюдения рассеянного излучения были выбраны таким образом, чтобы элементы ФДЛ регистрировали излучение, прошедшее в кожу и вышедшее из нее после рассеяния в толще кожи. Для ввода сигналов с ФДЛ в компьютер был изготовлен адаптер, аналогичный адаптеру, описанному в работе [9]. Частота опроса ФДЛ была в пределах от 4 до 10 Hz. В работе были ис-

пользованы программы, представленные в [7], позволяющие наблюдать в реальном времени распределение сигналов по элементам, осуществлять фильтрацию шумов, а также определять число N пересечений сигналами плавающих порогов, равных средней величине сигналов в заданной группе элементов. Величины N_1 и N_2 , соответствующие участку кожи и участку бумаги, определяли усреднением на 100 элементах, взятых с шагом в 1 элемент. Наблюдения были проведены на участках предплечий у 3 здоровых лиц контрольной группы и 6 пациентов с различными формами аллергического дерматита и псориаза. Данные о пациентах также приведены в работе [8].

Наблюдение зависимостей величин N_1 и N_2 от времени показало, что она близка к линейной зависимости, а средний наклон линии $N_1 = N_1(t)$, как правило, существенно больше наклона линии $N_2 = N_2(t)$. Было предположено, что процесс случайного изменения фазы рассеянного излучения, вызванного биологическими процессами в коже, и процесс изменения фазы излучения, вызванного неконтролируемыми движениями руки, являются гауссовыми стационарными статистически независимыми случайными процессами. Был использован тот факт, что число пересечения порога и интервал корреляции интенсивности рассеянного излучения для указанных процессов связаны обратной пропорциональной зависимостью [5,6,10]. Предполагалось также, что коэффициенты пропорциональности одинаковы для различных процессов, если величины порогов равны средним значениям сигналов. Тогда, как показано в работе [8] для малых изменений фаз, величину N , соответствующую вкладу от биопроцессов, можно определить по формуле:

$$N = (N_1^2 - N_2^2)^{1/2},$$

где значения N , N_1 и N_2 соответствуют одному и тому же моменту времени t . На рис. 2, *a* приведены значения N , найденных по приведенной формуле, в зависимости от номера пациента n . Светлые столбики соответствуют здоровым участкам кожи, темные столбики — больным по внешним признакам участкам кожи, величины N были определены через 20 s после начала облучения. На рис. 2, *b* приведены значения сигналов, пропорциональных интенсивности излучения I_m для тех же участков кожи. I_m определяли в одной и той же ячейке после сглаживания зависимости сигналов по ячейкам, зафиксированной также через 20 s после начала облучения.

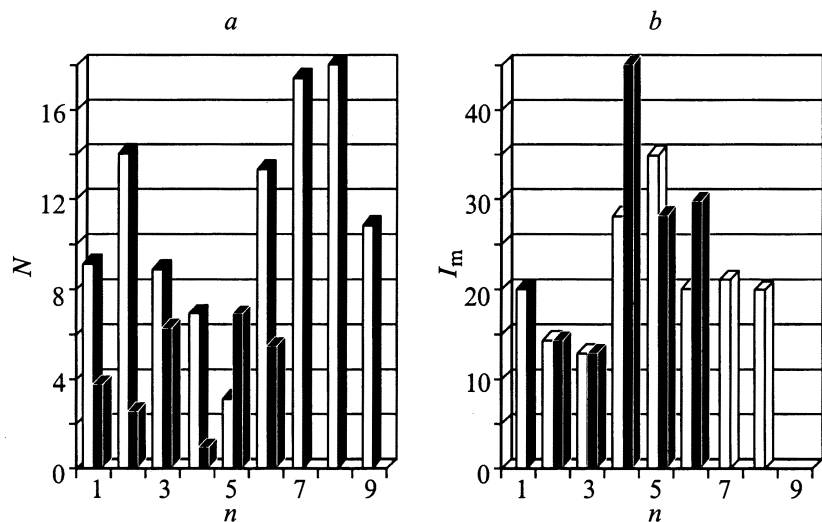


Рис. 2. Зависимости числа N мерцаний спеклов (а) и средней интенсивности I_m (b) от номера пациента n .

3. Обсуждение результатов. В данной работе значения величин N определяли из предположения, что два различных диффузора, а именно участок кожи руки и участок бумаги, приклеенный на кожу, при одинаковом их перемещении в пространстве вызывают в среднем одни и те же изменения в картине спеклов. Если это предположение справедливо, то из рис. 2, а следует, что для разных пациентов биологическим процессам в коже в среднем соответствуют от 0.05 до 0.9 мерцаний спеклов в секунду. Кожа является сложным оптическим объектом и поэтому трудно выделить причины, вызывающие подобные изменения интенсивности рассеянного излучения. В частности, такими причинами могут быть токи крови и лимфы, броуновское движение частиц соответствующего размера в межклеточной жидкости, деформации межклеточного каркаса, по-видимому, возможны и другие причины.

Как видно из рис. 2, а и b, в среднем интенсивность отраженного в толще кожи излучения несколько выше для больных участков кожи, а число мерцаний спеклов выше для здоровых участков. По-видимому,

это указывает на то, что здоровые участки кожи обладают несколько большей пропускающей способностью гелий-неонового излучения. Из-за отсутствия достаточных экспериментальных данных в настоящее время объяснить различие в числе мерцаний спеклов для больных и здоровых участков кожи не представляется возможным.

Вероятно, имеют место также различия в реакции клеток больных и здоровых участков на само лазерное излучение.

Авторы полагают, что полученные результаты вселяют определенный оптимизм. Если данные подтвердятся на достаточно большом числе пациентов, то предложенная методика наблюдения числа мерцаний спеклов может быть полезной для наблюдения биопроцессов в коже, в частности для наблюдения реакции кожи на различные внешние воздействия, а также в будущем для проведения дифференциальной диагностики дерматозов.

Список литературы

- [1] *Onlamara A., Tribillon G., Duvernoy J.* // J. Mod. Opt. 1989. V. 36. N 2. P. 165–179.
- [2] *Zheng B., Pless C.M., Ih Ch.S.* // Appl. Opt. 1994. V. 33. N 2. P. 231–237.
- [3] *Утиц С.Р.* // Автореф. дис. докт. мед. наук. М., 1998. 32 с.
- [4] *Бонч-Бруевич А.М., Николаев С.Д., Старобогатов И.О.* и др. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 11. С.42–49.
- [5] *Takai N., Iwai T., Ushizoka I., Asakura T.* // J. Optics (Paris). 1980. V. 11. N 2. P. 93–101.
- [6] *Ruth B., Haina D., Waidelich W.* // Optica Acta. 1983. V. 30. N 6. P. 841–849.
- [7] *Vladimirov A.P., Mikushin V.I., Golub O.V.* // SPIE Proceedings. 1995. V. 2300. N 63. P. 243–248.
- [8] *Отчет* Имаш УрО РАН о НИР. Екатеринбург, 1999. РК 01990007223. 27 с.
- [9] *Владимиров А.П., Микущин В.И.* // ПТЭ. 1998. № 3. С. 58–62.
- [10] *Тихонов В.И.* Выбросы случайных процессов. М.: Наука, 1970. 392 с.