

Гибридный подход к картированию деформаций в оптической когерентной томографии

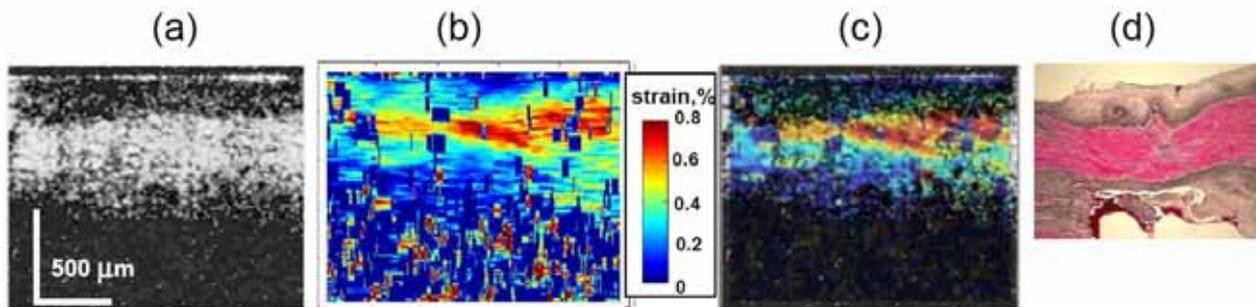
Оптическая когерентная томография (ОКТ), появившаяся во второй половине 90-х годов прошлого столетия, является одним из методов биомедицинской визуализации. Она занимает промежуточное положение между оптической микроскопией и методами, дающими более крупномасштабные изображения, например, всем известные ультразвуковые изображения (УЗИ). Последние имеют характерные размеры от единиц до десятка сантиметров и разрешение порядка миллиметра, тогда как ОКТ сканы, внешне похожие на УЗИ, обеспечивают более детализированные изображения биоткани. Их типичное разрешение составляет 5...10 микрометров при размерах несколько миллиметров в поперечном направлении и порядка миллиметра в глубину.

ОКТ визуализация в течение последнего десятилетия успешно применяется для диагностики различных патологий, в том числе онкологических заболеваний, в гинекологии, дерматологии, стоматологии, офтальмологии, и т.д. Первоначально при интерпретации ОКТ сканов в качестве основного источника информации использовались непосредственно видимые глазом особенности структуры ОКТ изображений, обусловленные различиями в уровне рассеяния биологическими тканями оптического сигнала (иногда с учетом различия этих изображений, получаемых для различных поляризаций оптического поля). В последнее десятилетие в центрах, занимающихся развитием оптической когерентной томографии, в том числе и в ИПФ РАН, большое внимание уделяется методам более глубокого и тонкого анализа особенностей ОКТ сканов для получения информации нового типа. Например, движение рассеивателей в крови, текущей по микрососудам, может быть использовано для удаления «твердой» ткани на изображении и визуализации микрокровотока, который неразличим на обычных ОКТ изображениях. Состояние сети микрососудов в ткани является биологически очень важной характеристикой, используемой, например, при оценке эффективности противораковой терапии.

Другой важной характеристикой биотканей (и непосредственно невидимой ни на ультразвуковых, ни на ОКТ изображениях) является их жесткость (точнее, способность сохранять форму, которая формально характеризуется, так называемым, модулем сдвига). В обычной практике с давних пор применяется метод пальпации (прощупывание) биотканей, что позволяет врачу найти области ткани, отличающиеся по жесткости, которые могут быть связаны с различными патологиями, например, с развитием опухолей. За последние 10-15 лет на основе тонкого анализа последовательностей ультразвуковых сканов деформируемой ткани появилась возможность формировать изображения, называемые эластографическими, на которых различия жесткостных свойств ткани визуализируются. Аналогичную задачу построения эластографических изображений с помощью оптической когерентной томографии ученые пытаются решить с начала 2000х годов, но на рынке медицинской техники ОКТ сканеров, обеспечивающих построение эластографических изображений, до сих пор нет. Причиной является ряд физических особенностей формирования ОКТ сканов, которые делают невозможным «ловкое» перенесение в ОКТ подходов, развитых в медицинском ультразвуке (т.н. корреляционные методы), а также затрудняют применение типичных для оптики фазовых методов прецизионного измерения смещений.

Ученые ИПФ РАН предложили оригинальный «гибридный» подход к выполнению эластографического картирования, в котором использовали достоинства анализа изображений деформируемой среды, применяемого в других областях. По сравнению с ранее известными подходами новый метод имеет значительно расширенный диапазон работоспособности по допустимым деформациям и беспрецедентно высокую помехоустойчивость. Это крайне важно для работоспособности эластографического картирования в таком режиме ОКТ-обследования живой биоткани, когда ее естественные движения (связанные, прежде всего, с дыханием и сердцебиением, которые остаются даже в состоянии полного наркоза организма) делают невозможным традиционное использование усредненного набора сканов для улучшения качества эластографического изображения. Полученные результаты подтверждаются детальным численным моделированием и проведенными экспериментами с

использованием как фантомных, так и реальных образцов биотканей. Соответствующий пример на рисунке, где панель (a) соответствует исходному структурному ОКТ скану, (b) показывает результирующее эластографическое изображение, (c) представляет наложение эластографического и структурного изображений, а (d) показывает для сравнения гистологическое изображение, подтверждающее наличие слоистой структуры, выявленной на эластографическом изображении за счет различия жесткостей слоев.



*В.Ю. Зайцев, д.ф-м.н., зав. лабораторией волновых методов
исследования структурно-неоднородных сред*

Коллектив авторов: В.Ю. Зайцев, Л.А. Матвеев, А.Л. Матвеев, В.М. Геликонов, Г.В. Геликонов – ИПФ РАН
A. Vitkin - University of Toronto, Canada