

Лазеры и биомедицинская диагностика

А.В.Приезжев

В последние годы происходит ускоренное развитие лазерной биомедицинской диагностики. В первую очередь это связано с развитием лазерных, оптоэлектронных и компьютерных технологий, методов генерации лазерного излучения, средств доставки его к объекту и устройств детектирования оптических сигналов. Это обусловлено также быстрым накоплением данных об оптических свойствах биологических объектов на уровне молекул, клеток, тканей и целостного организма. Отметим, что в биомедицинских исследованиях термин диагностика (обнаружение свидетельствующих о наличии заболевания отклонений исследуемых свойств объекта от нормы) имеет еще и физический смысл (получение новых данных о физических свойствах исследуемого объекта).

Растущий интерес к исследованиям в области биомедицинской диагностики со стороны физиков и инженеров объясняется разнообразием и сложностью стоящих перед ними и решаемых физических и технических задач, а со стороны биологов и медиков – возможностью получения новой, ранее недоступной информации о живых объектах и составляющих их структурах с помощью новых физических методов и приборов. Трудности, заключающиеся для физиков и инженеров в сложности и вариативности биологических объектов, а для медиков – в сложности применения новых методов и приборов, а также в сложности интерпретации непривычной для них информации, окупаются большой социальной важностью решаемых задач, среди которых в первую очередь нужно отметить следующие:

- повышение безопасности, точности и объективности диагностического исследования;
- обеспечение возможности более раннего обнаружения отклонения исследуемых особенностей человеческого организма от нормы (т. е. заболевания);
- создание максимально компактных и быстродействующих диагностических приборов;
- выяснение физических, в частности молекулярных, механизмов функционирования живых систем и возникновения и развития патологических отклонений;
- разработка методов мониторинга структуры и функции биологических объектов в процессе их нормальной жизнедеятельности, при развитии патологического процесса, а также при терапевтическом воздействии;

– разработка принципиально новых методов исследования живой материи и манипулирования биологическими структурами.

На основе лазерных и оптоэлектронных технологий с использованием быстро развивающихся компьютерных технологий обработки сигналов и изображений созданы высокоэффективные методы и средства для решения указанных задач. Можно без преувеличения сказать, что практически все достижения этих технологий находят применение в медицине. Однако лазерные и оптоэлектронные технологии, используемые для диагностических целей, являются наиболее наукоемкими и требуют обязательного участия физиков и инженеров. Это объясняется сложностью взаимодействия лазерного излучения с биологическими объектами и большой информационной емкостью возникающих при этом физических сигналов, несущих диагностическую информацию.

Взаимодействие лазерного излучения с биологическими объектами во многом зависит от характера распространения фотонов внутри объекта и на границе с окружающей средой. С учетом того, что большинство биологических объектов (тканей) являются оптически неоднородными, на первый план при исследовании распространения в них лазерного излучения выступают процессы рассеяния. Это особенно проявляется в диапазоне длин волн 0.6–1.5 мкм, называемом «диагностическим окном». В этом диапазоне коэффициент рассеяния большинства биотканей в десятки и сотни раз больше коэффициента поглощения. Глубина проникновения излучения красного и ближнего ИК диапазонов в биоткань существенно превышает глубину проникновения излучения с более короткими и более длинными волнами. В первом случае это происходит из-за поглощения света пигментами, белками и другими биологическими молекулами, во втором – из-за поглощения света водой. Благодаря наличию «диагностического окна» появляется возможность глубинного оптического (т. е. неповреждающего) просвечивания биологических объектов в целях выяснения их структуры и состава. На этом основаны разрабатываемые в настоящее время методы оптической медицинской томографии.

Времяпролетные (time-of-flight) и модуляционные (frequency-domain) методы оптической томографии базируются на возможности генерации УКИ и модулированного с частотой в сотни и тысячи мегагерц лазерного излучения. Примером наиболее важных медицинских задач, для решения которых используются эти методы, является раннее, не повреждающее ткань обнаружение раковых опухолей (в частности, опухолей молочной же-

лезы), кровоизлияний и аневризм сосудов головного мозга. К задачам первостепенной важности относится мониторинг уровня сахара в крови человека без забора пробы крови. Исследования последних лет показали также перспективность использования для решения этих проблем методов лазерной оптоакустической томографии.

Возможность генерации узкополосного высококогерентного излучения, а также широкополосного излучения с малой длиной когерентности лежит в основе методов корреляционной и доплеровской спектроскопии, лазерной интерферометрии и оптической когерентной томографии.

Эти методы эффективно используются для изучения динамических и структурных особенностей нормальных и патологически измененных биологических объектов как непосредственно в живом организме, так и при работе с отдельными образцами, например растворами биомолекул и суспензиями клеток (в частности, крови). При интерференции лазерного излучения, рассеянного оптически неоднородными биологическими тканями, образуются области максимумов и минимумов интенсивности (спеклы), сохраняющие когерентные свойства. Детектирование и корреляционная обработка этих структур также позволяют получать диагностическую информацию о пространственно-временной организации биологических объектов, в частности о динамике кровотока и лимфотока в тканях, а также о параметрах распространения пульсовых волн при сердечных сокращениях.

Как уже говорилось выше, механизмы большинства процессов жизнедеятельности и их отклонений от нормы (заболеваний) имеют молекулярную основу. Важную информацию о структуре, функциях и взаимодействии биологических молекул, составляющих различные ткани человеческого организма, дают лазерные методы флуоресцентной и рамановской спектроскопии, а также колебательной спектроскопии среднего ИК диапазона, позволяющие все большее развитие и применение в биомедицинских исследованиях, например для визуализации областей патологических (в частности, онкологических), атеросклеротических и других изменений тканей. Следует особенно подчеркнуть большую информативность

методов, основанных на измерении кинетики и времени релаксации сигнала.

Высокую эффективность визуализации различных структур и очагов патологии тканей обеспечивают поляризационные методы. Это объясняется различием в характере распространения в тканях лазерного излучения с разной поляризацией. Методы поляризационной визуализации с использованием компьютерных методов обработки изображения находят широкое применение, например, в диагностике структуры кожи и подкожной микроциркуляции.

Следует отметить, что при всей важности развития и применения методов неинвазивной диагностики тканей и органов большое значение имеют также измерения на образцах биоткани и продуктах жизнедеятельности организма человека. Это, в частности, относится к биологическим жидкостям, таким как кровь, слюна, слеза, спинно-мозговая и суставная жидкости, а также к выдыхаемым газам. Состав, а также структурные, реологические и другие параметры этих жидкостей и газов несут большую информацию и являются своего рода зеркалом состояния организма. Разработка новых эффективных методов измерения этих параметров – одна из задач биомедицинской оптики.

Далеко не все параметры, определяющие свойства биологических объектов и характер распространения в них зондирующего лазерного излучения, могут быть непосредственно измерены экспериментально. В частности это относится к коэффициентам поглощения и рассеяния, длине пробега и формам траекторий распространения фотонов в сильнорассеивающих тканях. В связи с этим в исследованиях по лазерной биомедицинской диагностике все большее значение приобретает использование методов численного моделирования распространения лазерного излучения в биологических тканях, например методов конечных элементов и статистических испытаний Монте-Карло.

Многие из упомянутых выше методов и задач обсуждаются в статьях, публикуемых в этом и следующем номерах журнала «Квантовая электроника», посвященных лазерной биомедицинской диагностике. Надеемся, что эти статьи будут интересны широкому кругу читателей журнала.