

## АНАЛИЗ ВИДОВ ТЕСТОВЫХ ОБРАЗЦОВ МАТЕРИАЛОВ В ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ТОМОГРАФИИ

А.В. Уманец

Научный руководитель доктор технических наук И.П. Гуров

Проведен анализ типичных видов тестовых образцов материалов биотканей для медицинских исследований методами оптической когерентной томографии и тестовых образцов материалов небиологической природы.

### Введение

Исследования внутренней структуры различных объектов неразрушающими методами имеют важное значение для биомедицины, материаловедения и современных высоких технологий. В частности, получение визуальной информации о внутренней структуре тела человека всегда вызывало живой интерес практикующих врачей, прежде всего с точки зрения установления и уточнения диагноза.

Одним из современных высокотехнологичных методов биомедицинских исследований является Оптическая Когерентная Томография (ОКТ) – метод, позволяющий получать изображения сечений приповерхностных тканей организма человека *in vivo* с высоким пространственным разрешением [1-4]. Данный метод нашел широкое применение во многих отраслях современной медицины, например, в таких как отоларингология, стоматология, кардиология, офтальмология, эндоскопия и во многих других. Для проведения исследований используются различные образцы приповерхностных живых тканей. В материаловедении существует необходимость исследования методами ОКТ образцов различных материалов небиологической природы.

Принцип ОКТ состоит в освещении объекта оптическим излучением с определением степени отражения излучения по глубине среды. В ОКТ используется оптическое излучение малой когерентности ближнего инфракрасного диапазона длин волн, в котором достигается более высокая степень проникновения излучения в исследуемую среду. Излучение исходного пучка фокусируется на приповерхностном слое биоткани, и задержка волны, отраженной от слоев внутренней микроструктуры на различных глубинах, измеряется интерферометрически. Полученные в результате данные (ОКТ изображение) образуют двухмерную карту

степени отражения от микроскопических оптических неоднородностей (клеточных структур) биоткани. Таким образом, ОКТ изображения, по сути, содержат информацию о морфологическом строении биотканей.

Оптическая когерентная томография представляет интерес для клинического использования по ряду причин [4]. Разрешающая способность метода составляет 10-15 мкм, что в 10 раз превышает разрешение других используемых в практике диагностических методов и предполагает изучение объекта на уровне микроскопической архитектуры биоткани. Информация, получаемая с помощью ОКТ, является прижизненной, то есть отражает не только структуру, но и особенности функционального состояния тканей. Используемое излучение в ближнем инфракрасном диапазоне с мощностью порядка 5 мВт не оказывает повреждающего воздействия на организм, исключает возможность нанесения различного рода травм, которые характерны для некоторых других используемых на практике диагностических методов.

Актуальной проблемой исследований в области ОКТ является адекватность интерпретации получаемых данных в целях повышения достоверности медицинской диагностики. Один из путей решения проблемы состоит в исследовании характеристик систем ОКТ при помощи хорошо изученных тестовых образцов.

### **Анализ видов исследуемых образцов в ОКТ**

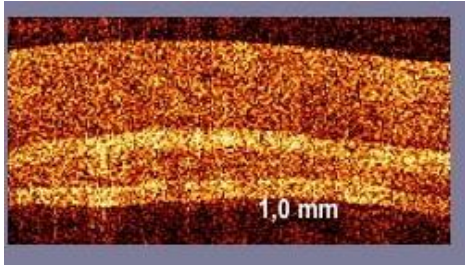
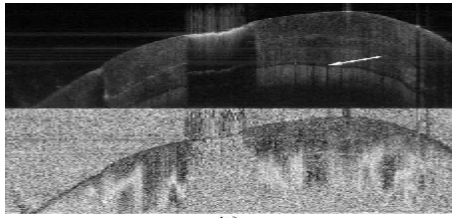
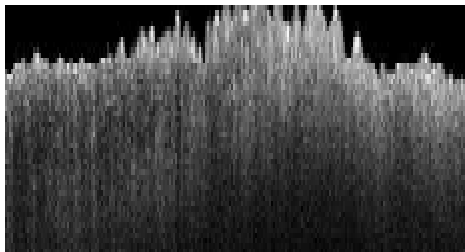
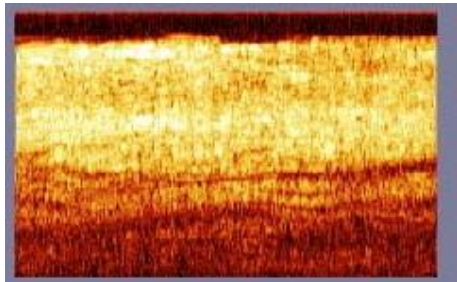
Исследуемые образцы можно разделить на три широкие категории: биологические образцы, естественные образцы небиологической природы и искусственно созданные образцы.

Наиболее представительную категорию составляют биологические образцы, т.е. живые ткани, которые непосредственно изучаются при проведении биомедицинских исследований. Это может быть как листок одуванчика в ботанике, так и ткани пищевода или желудка в гастроэнтерологии, зубная эмаль в стоматологии и др. По полученным томограммам можно судить о состоянии биоткани, а также выявлять различные заболевания на ранних стадиях их проявления, что очень важно в современной медицине. В ряде случаев, например, в современном материаловедении, изучаются различные объекты и материалы со сложной микроструктурой. При этом используются специальные тестовые образцы.

Ввиду наличия большого объема информации о результатах применения методов ОКТ при решении различных задач, представляет интерес анализ и систематизация видов тестовых образцов материалов, используемых в научных исследованиях в области ОКТ.

В табл. 1 представлены примеры некоторых видов биологических тестовых образцов, заметно различающихся по строению внутренней микроструктуры.

**Таблица 1.** Биологические образцы

№	Образец	Изображение биоткани	Примечание
1	Человеческий пищевод		Изображение верхнего отдела человеческого пищевода в норме без патологических отклонений
2	Зубная эмаль		Верхний слой эмали коренного зуба взрослого человека [5]
3	Кожа		Слой свиной кожи [6]
4	Слизистая полости рта		Слизистая оболочка полости рта при воспалительном заболевании [7]

Биологические образцы по своей структуре неоднородны и имеют определенное сложное строение [4]. Приведем типичные примеры.

Кожа здорового человека имеет слоистую структуру, в ней можно выделить 5 слоев (см. рис. 1):

- поверхностный, сильно рассеивающий, яркий, тонкий, однородный, примерно одинаковой толщины на всем протяжении; соответствует поверхностной части рогового слоя с рыхлым расположением чешуек;

- рассеивающий слабее, более темный, однородный, одинаковой толщины на всем протяжении; соответствует среднему и нижнему отделам рогового слоя;
- сильно рассеивающий, яркий, однородный, одинаковой толщины на всем протяжении, эпидермис;
- умеренно рассеивающий, более темный, неоднородный, соответствует зоне взаимного проникновения эпидермальных выростов;
- располагающийся в нижней части томограммы, слабо рассеивающий, темный, соответствует верхней части сетчатого слоя, дермы с сосудами.

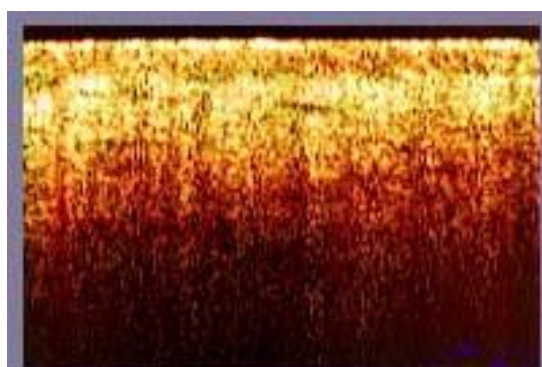
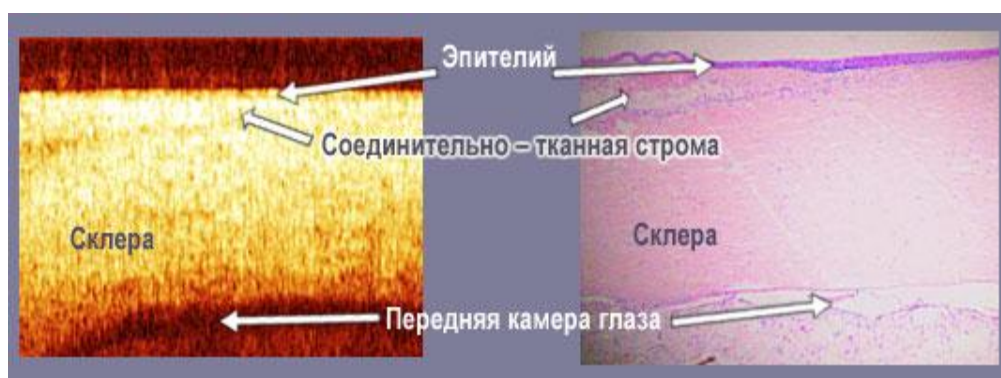


Рис 1. Томограмма здоровой кожи взрослого человека

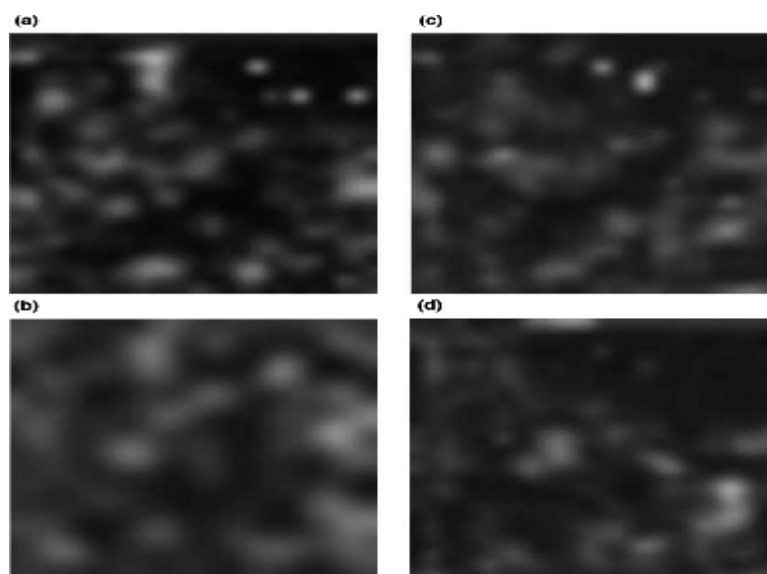
Конъюктива – это тонкая прозрачная биоткань, которая покрывает глаз снаружи. ОКТ изображение здоровой конъюнктивы (см. рис. 2) структурировано и хорошо определяет пять её слоёв: верхний, умеренно рассеивающий слой, толщиной примерно 20 мкм, соответствующий на гистологических препаратах эпителию; сильно рассеивающий слой соединительно-тканной стромы; слабо рассеивающий щелевидный слой субконъюнктивального пространства; сильно рассеивающий слой склеры и подлежащий слабо рассеивающий слой, соответствующий передней камере глаза, содержащей прозрачную камерную влагу. Поверхности слоёв ровные, непрерывные, контрастные [4].



**Рис. 2.** Конъюктива здорового человека.

Очень часто приходится изучать не только биоткани, но и различные образцы небиологического происхождения. Например, в материаловедении структура исследуемого образца имеет очень важное значение, поэтому требуется изучать различные образцы искусственных материалов: бумаги, разнообразных синтетических волокон и др. [8].

На рис. 3 в качестве примера приведены томограммы образца тонкой синтетической бумаги.



**Рис. 3.** Томограммы образца синтетической тонкой бумаги

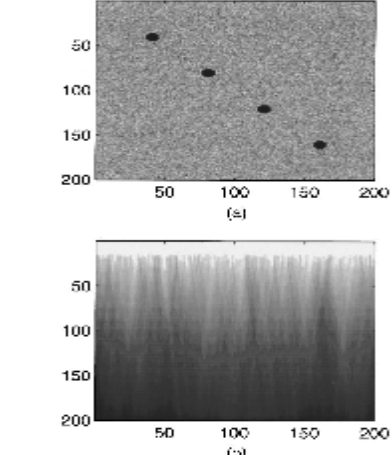
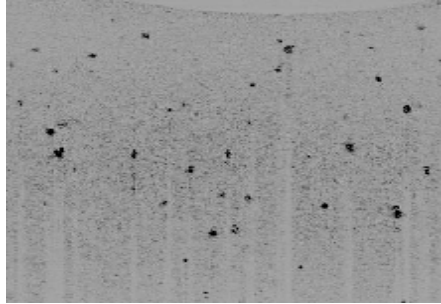
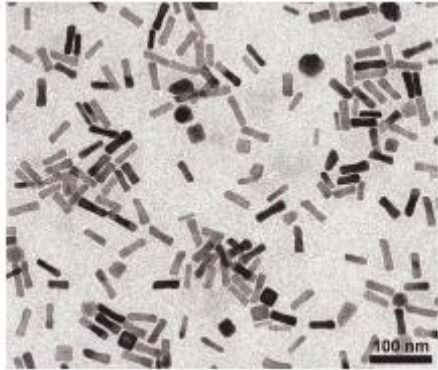
К важной категории тестовых образцов можно отнести искусственно созданные образцы. Они необходимы при исследованиях для того, чтобы создавать модели неоднородных сред с различными характеристиками и локальными свойствами микроструктуры.

В табл. 2 приведены некоторые примеры искусственных тестовых образцов. Следует отметить, что эталонные образцы с известными параметрами и свойствами, используемые для калибровки приборов, позволяют сопоставлять полученные в результате эксперимента данные с уже известными для того, чтобы правильно выполнить их интерпретацию и убедиться в достаточной достоверности установления диагноза.

## Заключение

Оптическая когерентная томография – один из наиболее высокотехнологичных современных неразрушающих методов исследования в биомедицине, материаловедении и других отраслях современной науки.

Таблица 2. Искусственные тестовые образцы

№	Тестовый образец	Изображение	Примечание
1	Гетерогенный тонкий слой		<p>Образец тонкой структуры, содержащий рассеивающие частички двух различных диаметров – 0,4 мкм и 6,4 мкм. Объемная доля мелких и крупных частиц 0,05 и 0,022 соответственно. Используется моделирование гетерогенных тонких структур в оптической когерентной томографии [9]</p>
2	Модель тонкого слоя		<p>Образец состоит из мельчайших частиц, или синтетических полимеров. Используются для визуализации динамики частиц [10]</p>
3	Золотые наночастицы		<p>Наночастицы были синтезированы при помощи метода «выращивания зерен». Используются в качестве контрастных агентов для изучения обратного рассеяния в оптической когерентной томографии [11]</p>

Тестовые образцы, использующиеся в ОКТ, можно классифицировать в соответствии с их природой на три широкие категории: биологические образцы, естественные образцы небиологической природы и искусственно созданные образцы.

Практически все образцы неоднородны. В свою очередь, биологические образцы обычно имеют многослойную структуру, к типичным примерам можно отнести кожу и конъюнктиву. Многие биоткани анизотропны по своей структуре, например, такие как микроструктура листа растения.



Исследования тестовых образцов и достоверность интерпретации томограмм, безусловно, имеют большое значение для биомедицины. Томограмма позволяет получить гораздо больше информации о биоткани, чем, например, исследование ультразвуком; дает возможность визуализировать структуру ткани на различных глубинах. Методы ОКТ позволяют получать прижизненную информацию о функциональном состоянии объекта, выявлять отклонения и патологии на самых ранних стадиях, что снижает необходимость применения биопсии.

### Список литературы

1. *Fercher A.F., Drexler W., Hitzenberger C.K., Lasser T.* Optical coherence tomography – principles and applications// *Rep. Prog. Phys.* 66. 2003. P. 239–303.
2. *Гуров И.П.* Оптическая когерентная томография: принципы, проблемы и перспективы. В кн.: Проблемы когерентной и нелинейной оптики /Под ред. И.П. Гурова и С.А. Козлова. СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. С. 6–30.
3. *Tomlins P.H., Wang R.K.* Theory, developments and applications of optical coherence tomography// *J. Phys. D: Appl. Phys.* 38. 2005. P. 2519–2535.
4. Руководство по оптической когерентной томографии /Под ред. Н.Д. Гладковой, Н.М. Шаховой и А.М. Сергеева. М: Физматлит, 2007.
5. *Brandenburg R., Haller B., Hauger C.* Real-time in vivo imaging of dental tissue by means of optical coherence tomography (OCT)// *Opt. Commun.* 2003. V. 227. P. 203 – 211.
6. *Boer J., Srinivas S., Malekafzali A., Chen Z., Nelson J.* Imaging thermally damaged tissue by polarization sensitive optical coherence tomography // *Opt. Expr.* 1998. V. 3. No 6. P. 212 – 218.
7. *Hori Y., Yasuno Y.* Automatic characterization and segmentation of human skin using three-dimensional optical coherence tomography // *Opt. Expr.* 2006. V. 14. No 5. P. 1862 – 1877.
8. *Gordon S., Chim K.* Mirau correlation microscope// *Appl. Opt.* 1990. V.29. No 26. P. 3775 – 3783.
9. *Schmitt. J., Knuttel A.* Model of optical coherence tomography of heterogeneous tissue // *J. Opt. Soc. Am. A.* 1997. V.14. No 7. P. 1231 – 1243.
10. *Tan W., Oldenburg A.* Optical coherence tomography of cell dynamics in three-dimensional tissue models // *Opt. Expr.* 2006. V. 14. No 16. P. 7159 – 7171.
11. *Oldenburg A., Hansen M.* Plasmon-resonant gold nanorods as low backscattering albedo contrast agents for optical coherence tomography // *Opt. Expr.* 2006. V. 14. No 15. P. 6724 – 6738.
12. *Mariampillai A., Standish B., Munce N., Randall C.* Doppler optical cardiogram gated 2D color flow imaging at 1000 fps and 4D *in vivo* visualization of embryonic heart at 45 fps on a swept source OCT system // *Opt. Expr.* 2007. V. 15. No 4. P. 1627 – 1638.
13. *Grieve A., Dubois A., Simonutti M., Paques M., Sahel J., Boccara C.* In vivo anterior segment imaging in the rat eye with high speed white light full-field optical coherence tomography // *Opt. Expr.* 2005. V.13. No 16. P. 6286 – 6295.
14. *Boer J., Srinivas M., Park B., Pham H., Chen Z., Milner T. , Nelson J.* Polarization Effects in Optical Coherence Tomography of Various Biological Tissues// *IEEE Journal of selected topics in quantum electronics.* 1999. V. 5. No 4. P. 1200 – 1204.