

# ОПТИЧЕСКАЯ КОГЕРЕНТНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПЕРЕДНЕГО ОТДЕЛА ГЛАЗА В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ ОФТАЛЬМОЛОГА

## (Обзор литературы)

*Завгородняя Н. Г., Колесник Е. А., Завгородняя Т. С., Безденежная О. А.*

*Запорожская медицинская академия последипломного образования*

*Клиника современной офтальмологии «ВИЗУС»*

Оптический когерентный томограф Visante OCT позволяет проводить бесконтактный анализ структур переднего отрезка глаза, таких, как роговица, радужная оболочка, элементы угла передней камеры. Методика исследования проста, неинвазивна, бесконтактна, а ее результат – томограммы сечения глаза с высоким разрешением. Измерительные возможности прибора позволяют с максимальной точностью определить глубину передней камеры глаза в любой интересующей зоне, измерить внутренний диаметр передней камеры, а также точно измерить ширину угла передней камеры и определить его профиль. Возможность визуализации структур переднего сегмента глаза в режиме реального времени играет большую роль как в до – так и в послеоперационном периоде, что дает возможность измерения всех визуализируемых анатомических структур и имплантов, размеры сформированных в ходе операции полостей, толщины склеральных лоскутов, высоты и структуры фильтрационной подушки и т. д. Visante OCT является достаточно ценным диагностическим прибором в фоторефракционной и роговичной хирургии, так как позволяет получить достоверные и высокоточные данные, многие из которых пока невозможно получить другими способами.

**Ключевые слова:** оптическая когерентная томография, диагностика, передний отдел глаза.

Традиционные способы диагностики заболеваний переднего отдела глазного яблока, такие как биомикроскопия, офтальмоскопия оказываются малоинформативными при выраженном отеке, инфильтрации и значительном помутнении роговицы, поэтому в практику вошли такие методы, как конфокальная микроскопия, оптическая и ультразвуковая биомикроскопия глаза.

В последние годы все большее распространение получают бесконтактные методы обследования, один из которых – оптическая когерентная томография (ОКТ). Это современная неконтактная технология для получения изображений поперечного сечения тканей (например, сетчатки, роговицы, конъюнктивы, склеры, хрусталика и др.), при которой используется рассеивание света на отдельных участках исследуемого объекта. Основа метода – получение изображений путем проведения повторяющихся осевых измерений в различных поперечных положениях при сканировании ткани оптическим лучом. Разрешение в 10–15 мкм позволяет различать структуру оптических неоднородностей, обусловленных вариациями коэффициента обратного отражения, и обеспечивает возможность получения морфологической информации на микроскопическом уровне с высоким разрешением. Полученные в результате такого исследования данные, образуют двухмерную картину обратного рассеивания (или отражения) от клеточных структур ткани.

Среди современных приборов для бесконтакт-

ной визуализации переднего отрезка глаза оптические когерентные томографы «Visante OCT» производства фирмы Carl Zeiss Meditec позволяют добиться наилучшего изображения структур угла передней камеры [6]. Прибор работает с использованием неинвазивной, бесконтактной, низкокогерентной интерферометрии и создает томограммы сечения глаза с высоким разрешением. Свет направляется по двум оптическим путям. При этом один путь (в глаз) представляет собой сканирование, а другой – основной путь интерферометра. В качестве источника света используется люминесцентный диод (SLD, SLED) с длиной волны 1310 nm. Излучение данной длины волны характеризуется незначительным проникновением в глаз и в то же время имеет высокую способность к проникновению через плотные структуры (мутная роговица и склера), а также дает возможность максимально быстрого сканирования, что минимизирует помехи от движения глаза пациента. Попадающий через сканирование и основной путь, свет накладывается на фотодетекторе. Принцип работы данных приборов представлен на рисунке 1.

В связи с небольшой когерентной длиной суперлюминесцентного светодиода сила наложенного сигнала является мерой степени отражения небольшого объема ткани в соответствующей точке сканирования. В результате изменения оптической длины основного пути интерферометр анализирует исходящий сигнал в точке

сканирования, чтобы определить осевую глубину отраженного от ткани сигнала (как при ультразвуковом А-сканировании). В результате того что сканирующий луч движется по глазу поперечно, получаются несколько сканов, которые затем выравниваются, чтобы создать двумерное изображение (как при УЗ В-сканировании). Важным моментом в исследовании является контроль взора пациента, что, как правило, решается с помощью встроенной видеокамеры. Одновременное выведение на монитор сканируемой картинке и движений луча сканера позволяет врачу точно контролировать зону исследования и при необходимости изменять его угол.

Полученные таким образом томограммы обрабатываются с помощью специальных компьютерных программ, анализируются количественно и могут архивироваться в памяти компьютера или на носителях информации.

Преимущества информации, которую получает врач с помощью оптической томографии переднего отрезка глаза в сравнении с рутинным методом биомикроскопии наглядно видно на рисунке 2.

Точное измерение преломляющей силы и толщины роговицы, глубины передней камеры, толщины хрусталика, передне-заднего размера глаза считаются обязательными в офтальмохирургии. По данным литературы бесконтактные измерения глубины передней камеры с помощью имеющихся в настоящее время приборов (Pentacam Scheimpflug, Orbscan, IOL Master, Visante OCT) показывают значения, более высокие по сравнению с ультразвуковым А-методом и УБМ. Различия в измерениях достигают 6,4–15,7 мкм. В то же время, измерения толщины роговицы в центральной зоне оказываются меньше на 7–16 мкм. Однако, результаты бесконтактных измерений с помощью Visante OCT, в отличие от УБМ, характеризуются высокой воспроизводимостью при повторных исследованиях [2, 4, 6, 11, 22, 16]. На рисунке 3 представлено стандартное окно при исследовании переднего отрезка на приборе Visante OCT. Встроенная видеокамера позволяет контролировать положение глаза пациента и прохождение сканирующего луча. Исследуются следующие структуры: роговица, передняя камера, угол передней камеры, хрусталик (только в области зрачка, поскольку пигментный листок радужки блокирует прохождение сканирующего луча). При изменении положения глаза можно получить гистологический срез конъюнктивы и цилиарного тела (рис. 4).

Возможность визуализации структур переднего сегмента глаза в режиме реального времени играет большую роль как в до- так и в послеоперационном периоде. Измерительные возможности прибора позволяют с максимальной точностью определить глубину передней камеры глаза в любой интересующей зоне, измерить внутренний ди-

аметр передней камеры, а также точно измерить ширину угла передней камеры и определить его профиль. Одновременное выведение на монитор сканируемой картинке и движений луча сканера позволяет врачу точно контролировать зону исследования и при необходимости изменять его угол. Также имеется возможность измерения всех визуализируемых анатомических структур и имплантов, размеры сформированных в ходе операции полостей, толщины склеральных лоскутов, высоты фильтрационной подушки и т. д.

Неоспоримым достоинством прибора Visante OCT является наличие измерительного щупа – (Caliper) – универсального инструмента, который можно применять много раз для измерения соответствующих расстояний – глубины и внутреннего диаметра передней камеры, ширины угла передней камеры с определением его профиля, толщины роговицы с возможностью составления карты пахиметрии (рис. 5), причем даже при отечной и непрозрачной роговице. Возможно определять размеры всех визуализируемых анатомических структур и имплантов – искусственные хрусталики, дренажи после антиглаукомных операций, размеры сформированных в ходе операций полостей, толщины склеральных лоскутов, высоту и структуру фильтрационных подушек, посадку контактных линз (рис. 6), что важно для ортокератологии.

Особое значение методика оптической когерентной томографии приобретает при рефракционных операциях, так как позволяет оценить толщину флэпа, его положение, наличие каких-либо патологических включений (врастание эпителия, загрязнение ложа) и толщину остаточной стромы, что важно для профилактики истончений и эктазий роговицы (рис. 7).

При выборе метода коррекции, равно как и в дооперационной диагностике скрытого кератоконуса, неоценимым подспорьем является возможность создания карты толщин всей роговицы, благодаря чему сразу же выявляются минимальные истончения на любом участке (рис. 8). Для точного и комплексного исследования толщины роговицы есть возможность составления карты пахиметрии. Следует отметить, что пахиметрия на Visante OCT не имеет ограничений, связанных со степенью прозрачности роговицы. То есть измерить ее можно в любом случае, даже если она абсолютно непрозрачна. Плюс – есть возможность оценить ее структурные изменения. На высокую диагностическую ценность использования ОКТ-исследования у пациентов с аномалиями рефракции, как во время предоперационного обследования при подготовке к рефракционной хирургии, так и для контроля проводимого лечения в интра- и послеоперационном периоде указывают также М. Tang et al. (2006), а затем Y. Li et al. (2007). Авторы отмечают высокую точность и воспроизводимость результатов измерений, раз-

нища составляет не более 2–7 мкм. [13, 25].

Возможность наложения карты пахиметрии при различных измерениях, позволяет оценить динамику течения послеоперационного периода и при операциях по поводу катаракты и при других оперативных вмешательствах, что трудно переоценить при проведении научных исследований и внедрении доказательной медицины. Например, на рисунке 9 представлена динамика изменения толщины роговицы после факоэмульсификации катаракты, что позволяет оценить выраженность послеоперационной воспалительно-экссудативной реакции, а на следующем рисунке (рис. 10) представлены карты пахиметрии больных сахарным диабетом при использовании стандартной методики (контрольная группа) и при сочетании ФЭК с интравитреальным введением кеналога. Значительно меньший прирост толщины роговицы на следующий день после операции свидетельствует о существенном преимуществе предлагаемой методики и математически его подтверждает.

Результаты ОКТ роговицы показывают корреляционную взаимосвязь с результатами гистологических исследований. ОКТ позволяет четко дифференцировать, какую часть роговицы затрагивает патологический процесс: передний эпителий, строму роговицы или эндотелий (задний эпителий) [13], что приобретает особое значение при воспалительных заболеваниях, сопровождающихся отеком и помутнением стромы. F. Memarzadeh et al. (2007) представили результаты ОКТ переднего отрезка глаза 4 пациентов с помутнением роговицы после сквозной пересадки роговицы. Авторы делают вывод, что данный вид исследования позволяет визуализировать структуры переднего отрезка глаза даже при значительном помутнении роговицы, и обнаружить анатомические изменения, которые могут явиться причиной повышения внутриглазного давления [10].

В литературе есть сообщения об экспериментальных исследованиях, которые доказывают возможность получения ОКТ-изображений с разрешением 1–2 мкм, что позволяет визуализировать структуру тканей глаза на клеточном уровне [1]. Интересны работы автора по оценке возможности бесконтактной визуализации структур переднего отрезка глаза у пациентов с деструктивно-воспалительными заболеваниями роговицы. Основываясь на собственном опыте и на работах других авторов, можно утверждать, что ОКТ является неопределимым методом диагностики и облегчает выбор тактики лечения у таких больных, так как позволяет выявить причины осложнений – например, повышения ВГД, в частности передние синехии, подвывихи хрусталиков или ИОЛ, отслойки десцеметовой оболочки и др. (рис. 11).

Более широкое применение данного метода в динамике того или иного заболевания, возможно позволит получить новые данные о механиз-

ме развития и течения различной глазной патологии. В настоящее время в литературе имеется ограниченное число сообщений по данной теме. Так D. Ezra et al. (2007) описывают 2 пациентов с острым кератоконусом, у которых при ОКТ была зафиксирована отслойка десцеметовой мембраны [5]. Поистине уникальными являются снимки, представленные G. Vaikoff, иллюстрирующие развитие кератоконуса у одного пациента и подтверждающие развитие эктазии с отслойкой десцеметовой мембраны в поздней стадии заболевания (рис. 12). M. Lai et al. (2006) описали результаты ОКТ-исследования роговицы после имплантации интрастромальных роговичных колец у 4 пациентов с кератоконусом [7].

Неоспоримым преимуществом обладает ОКТ у больных с глаукомой. Метод позволяет точно оценить и измерить ширину угла передней камеры, его профиль, диагностировать различные виды блоков, влияние хрусталика на изменение соотношения внутриглазных структур, проводить мониторинг больного после лазерного и хирургического лечения (рис. 13, 14). Руднева М. А. опубликовала данные о возможностях Visante OCT в диагностике глаукомы. Автор отметила, что гониоскопия, оставаясь «золотым стандартом» диагностической оценки угла передней камеры, обладает некоторыми нежелательными свойствами: во-первых, при применении контактной гониоскопической линзы глазное яблоко подвергается внешнему давлению, которое может исказить естественную картину конфигурации угла передней камеры; во-вторых, освещение щелевой лампы также оказывает значительное влияние на конфигурацию угла передней камеры. В 38% случаев это происходит при освещении радужной оболочки, в 72% случаев – при освещении зрачка и радужки. Кроме того классификации гониоскопических изменений основаны на субъективной оценке визуальной картины угла передней камеры. Исследование на Visante OCT – бесконтактное, что исключает возможность деформации роговицы и изменения конфигурации угла передней камеры. Длина волны излучения прибора лежит за пределами видимого спектра, поэтому отсутствует реакция зрачка на свет и связанные с ней изменения взаимного расположения структур угла передней камеры. Visante OCT обеспечивает возможность точных измерений и объективной оценки степени изменения конфигурации угла передней камеры.

Изучение зоны оперативного вмешательства после антиглаукомных операций с помощью ОКТ возможно уже в 1–2 сутки после операции, что позволяет не только оценить правильность выполненного вмешательства, но и проследить все этапы заживления раны и формирования нового соустья [13]. Исследования, проведенные Ch. Leung et al. (2007), изучавших ОКТ особенности фильтрационных подушечек у 14 пациентов





Рис. 1. Принцип работы спектральных томографов

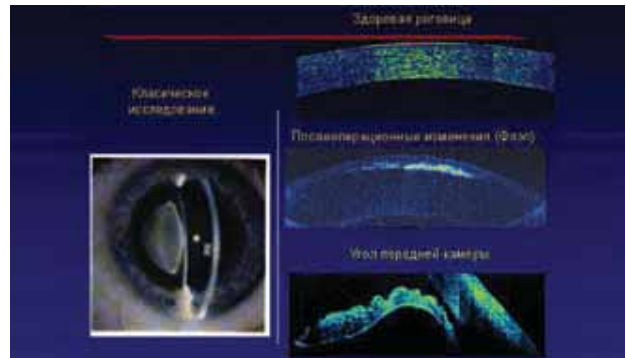


Рис. 2. Сравнение изображений роговицы и УПК, получаемое при стандартной биомикроскопии ОКТ



Рис. 3. Стандартное окно прибора Visante OCT

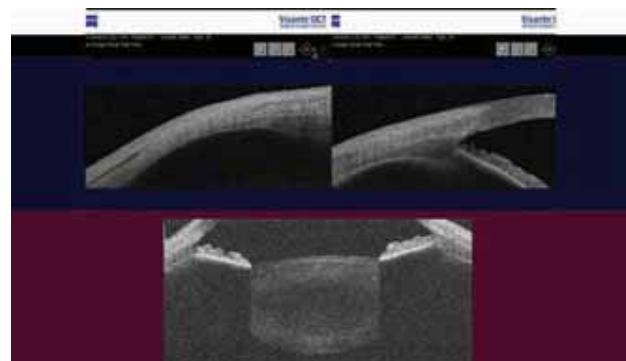


Рис. 4. Возможности визуализации конъюнктивы, склеры, цилиарного тела и хрусталика



Рис. 5. Карта пахиметрии (чем ближе к красному цвету, тем тоньше роговица)

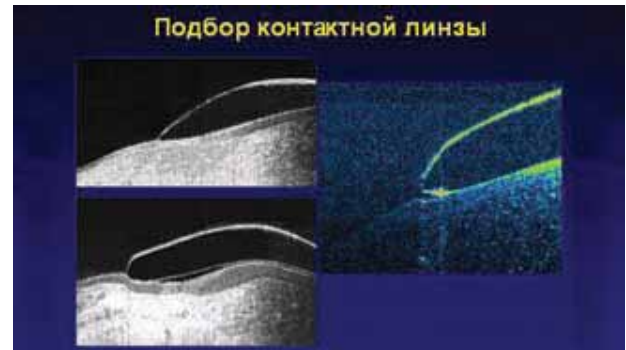


Рис. 6. Возможности ОКТ переднего отдела при оценке посадки МКЛ

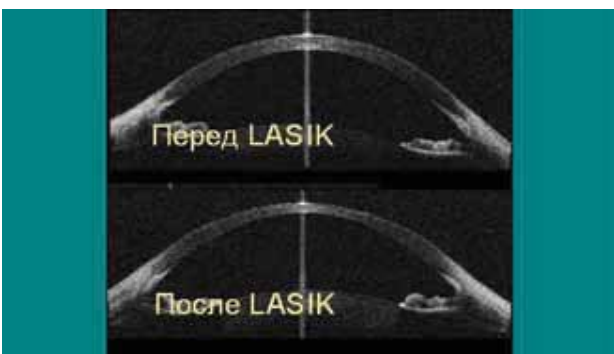


Рис. 7. Изменение толщины роговицы после эксимер-лазерного in situ кератомилеза

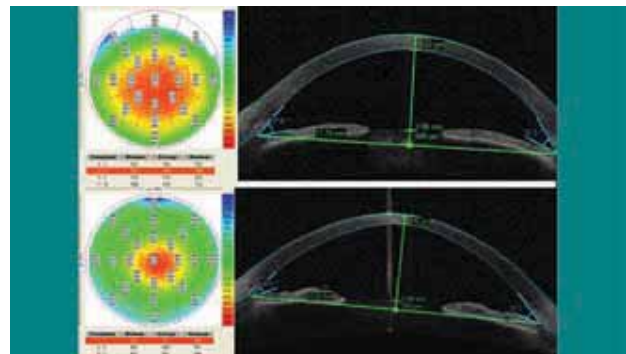


Рис. 8. Карта пахиметрии, получаемая на Visante OCT в норме и при кератоконусе



Рис. 9. Послеоперационный отек роговой оболочки после ФЭК + ИОЛ у больной сахарным диабетом



Рис. 10. Возможности использования протоколов сравнения толщин роговицы

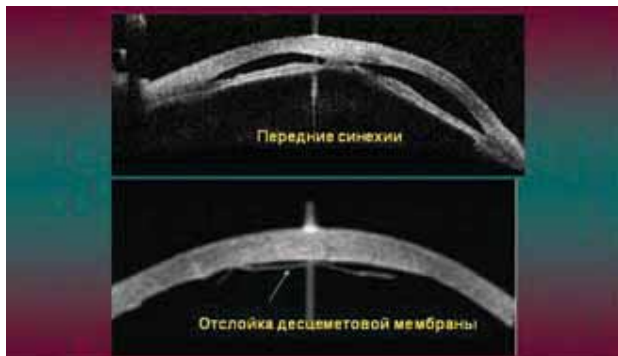


Рис. 11. Диагностические возможности ОКТ при непрозрачной роговице



Рис. 12. Стадии развития кератоконуса

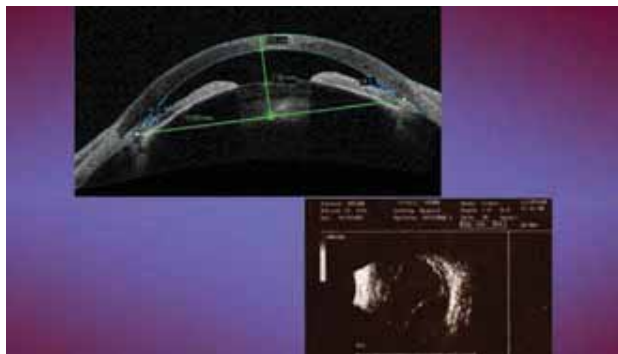


Рис. 13. Злокачественная глаукома. Закранный угол передней камеры, зрачковый и витреохрусталиковый блок

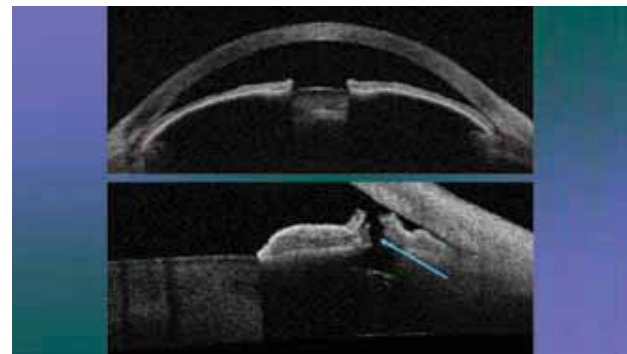


Рис. 14. На снимке сверху – закрытый угол, зрачковый блок, мелкая передняя камера. Внизу – лазерная иридотомия (восстановлена передняя камера)

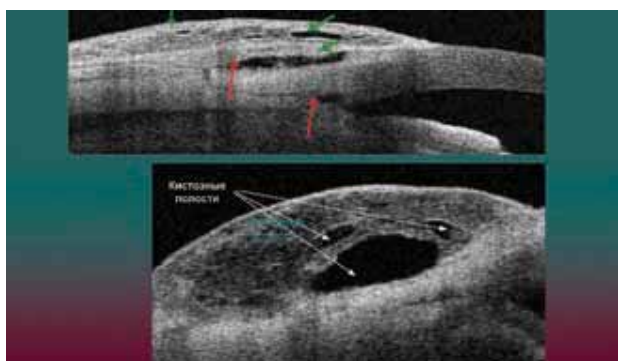


Рис. 15. Фильтрационные подушечки после антиглаукомных операций



Рис. 16. Возможности ОКТ в послеоперационном мониторинге

в различные сроки после выполнения синусотрабекулоэктомии, показали, что в режиме High Resolution Corneal возможна четкая визуализация области склерэктомии, склерального лоскута и склеральной шпоры, области иридектомии, а также стенки фильтрационной подушечки, что дает возможность в ранние сроки после операции контролировать эффективность лечения, при необходимости регулировать уровень фильтрации внутриглазной жидкости посредством швов. В виду большей разрешающей способности ОКТ по сравнению с УБМ (18 мкм Visante-ОСТ и 25 мкм УБМ) данный метод позволяет получить более точное изображение зоны оперативного вмешательства. Однако авторы считают, что необходима доработка компьютерного обеспечения прибора для улучшения исследования зон антиглаукомных вмешательств так как компьютерное обеспечение прибора рассчитано на биометрию структур переднего отрезка глаза и ориентиром для отсчета установлено поверхность роговицы, поэтому выполнить точные измерения области фильтрационной подушечки не представляется возможным, а программа анализа Visante-ОСТ не предусматривает сравнительную оценку интенсивности сигнала в количественных единицах, поэтому возможна лишь субъективная оценка и сравнение содержимого фильтрационных подушечек [8, 9]. На рисунке 15 представлены ОК томограммы нормальной и кистозно измененной фильтрационной подушечки. На верхнем снимке нормальная подушечка представлена множественными субконъюнктивальными полостями размером от 0,05 до 0,2 мм; нормальная толщина стенки подушки от 0,11 до 0,26 мм. Хорошо визуализируется фильтрационный канал. На нижнем снимке представлена кистозная подушечка. Ее размеры превышают нормальные, стенка утолщена, обструкция фильтрационной зоны.

На следующем снимке (рис. 16) представлены ОК томограммы переднего отдела глаза у больного с первичной глаукомой, которому выполнена факоэмульсификация катаракты с локальным циклодиализом и имплантацией в зону циклодиализа коллагенового дренажа

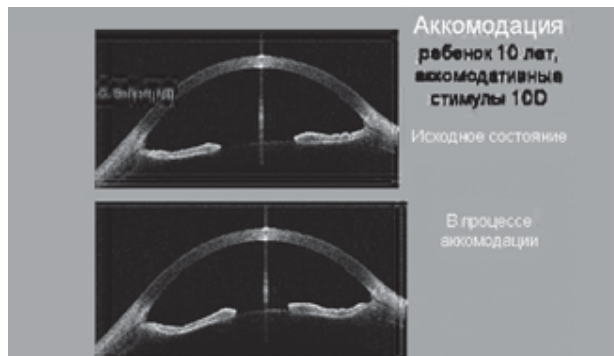


Рис. 17. Аккомодация

«КСЕНОПЛАСТ». Данная методика разработана нами (Завгородняя Н. Г., Гетманчук О. А., Кравченко Е. А. Заявка на патент И2008 11297 от 18.09.08), а использование для динамического наблюдения ОКТ позволило подтвердить наличие локального циклодиализа, сообщения ПК и супрахориоидального пространства посредством дренажа в послеоперационном периоде, расширение супрахориоидального пространства, что и обеспечивает нормализацию ВГД за счет улучшения увеосклерального оттока.

В заключение хочется продемонстрировать какие поистине неограниченные возможности открывает перед нами ОКТ в изучении физиологии и топографо-анатомических взаимоотношений структур переднего отрезка глаза, например в условиях аккомодации (рис. 17).

Таким образом, данные литературы и собственные наблюдения свидетельствуют о значительных возможностях оптической когерентной томографии для диагностики и мониторинга состояний, связанных с патологией переднего отдела глаза. Являясь быстрым, бесконтактным и высокоинформативным методом исследования ОКТ позволяет точно решать различные задачи, будь то качественная диагностика, динамическое наблюдение или сбор доказательной базы для подтверждения научной мысли. Хочется пожелать скорейшего более широкого внедрения метода в клиническую практику украинских офтальмологов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Имшенецкая Т. А., Ситник Г. В. Оптическая когерентная томография переднего отрезка глаза у пациентов с язвенными поражениями и помутнениями роговицы
2. Ba koff G. Anterior segment OCT and phakic intraocular lenses: a perspective. // J. Cataract Refr. Surg. – 2006. – Vol. 32. – P. 1827–1835.
3. Dada T. et al. Comparison of anterior segment optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy for assessment of the anterior segment. // Am. J. Ophthalmol. – 2007. – Vol.143. – P. 873–875.
4. Dawczynski J. et al. Anterior optical coherence tomography: a non-contact technique for anterior chamber evaluation. // Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2007. – Vol. 245. – P. 423–425.
5. Ezra D., Mehta J., Allan B. Late corneal hydrops after penetrating keratoplasty for keratoconus.// Cornea. – 2007. – Vol. 26. – N5. – P. 639–640.
6. Konstantopoulos A. et al. Recent advances in ophthalmic anterior segment imaging: a new era for ophthalmic diagnosis? // Br. J. Ophthalmol. – 2007. – Vol.91. – P. 551–557.
7. Lai M. et al. Optical coherence tomography to assess intrastromal corneal ring segment depth in keratoconic eyes. / M. Lai [et al.] // J. Cataract Refr. Surg. – 2006. – Vol. 32. – P. 1860–1865.
8. Leung Ch. et al. Analysis of bleb morphology after trabeculectomy with Visante anterior segment optical coherence tomography. // Br. J. Ophthalmol. – 2007. –



- Vol.91. – P. 340–344.
9. Li Y. et al. A longitudinal study of LASIK flap and stromal thickness with high-speed coherence tomography. // *Ophthalmology*. – 2007. – Vol. 114. – P. 1124–1132.
  10. Memarzadeh F. et al. Optical coherence tomography of the anterior segment in secondary glaucoma with corneal opacity after penetrating keratoplasty. // *Br. J. Ophthalmol.* – 2007. – Vol.91. – P. 189–192.
  11. Nemeth G. et al. Assessment and reproducibility of anterior chamber depth measurement with anterior segment optical coherence tomography compared with immersion ultrasonography. // *J. Cataract Refr. Surg.* – 2007. – Vol. 33. – P. 443–447.
  12. Radhakrishnan S. Comparison of optical coherence tomography and ultrasound biomicroscopy for detection of narrow anterior chamber angles. // *Arch. Ophthalmol.* – 2005. – Vol. 123. – N8. – P. 1053–1059.
  13. Sarodia U. et al. Visualisation of aqueous shunt position and patency using anterior segment optical coherence tomography. // *Am. J. Ophthalmol.* – 2007. – Vol.143. – P. 1054–1056.
  14. Singh M. et al. Imaging of trabeculectomy blebs using anterior segment optical coherence tomography. // *Ophthalmology*. – 2007. – Vol. 114. – N1. – P. 47–53.
  15. Tang M. et al. Measuring total corneal power before and after laser in situ keratomileusis with high-speed optical coherence tomography. // *J. Cataract Refr. Surg.* – 2006. – Vol. 32. – P. 1843–1850.
  16. Zhao P. Comparison of central corneal thickness measurements by Visante anterior segment optical coherence tomography with ultrasound pachymetry. // *Am. J. Ophthalmol.* – 2007. – Vol.143. – P. 1047–1049.

## ОПТИЧНА КОГЕРЕНТНА ТОМОГРАФІЯ ПЕРЕДНЬОГО ВІДРІЗКА ОКА В КЛІНІЧНІЙ ПРАКТИЦІ ОФТАЛЬМОЛОГА

*Завгородня Н. Г., Колісник О. А., Завгородня Т. С., Безденежна О. О.*

*Запорізька медична академія післядипломної освіти*

*Клініка сучасної офтальмології «ВІЗУС»*

Оптичний когерентний томограф Visante OCT дозволяє проводити безконтактний аналіз структур переднього відрізка ока, таких, як рогівка, райдужна оболонка, елементи кута передньої камери. Методика дослідження проста, неінвазивна, безконтактна, а її результат – томограма поперечних оптичних зрізів ока з високою точністю. Вимірювальні можливості приладу дозволяють з максимальною точністю визначити глибину передньої камери ока в будь-якій зоні, що цікавить, виміряти внутрішній діаметр передньої камери, а також точно виміряти ширину кута передньої камери і визначити його профіль. Можливість візуалізації структур переднього сегменту ока в режимі реального часу відіграє велике значення як в до- так і в післяопераційному періоді, що дає можливість виміру всіх анатомічних структур, що візуалізуються, а також імплантів, розміри сформованих в ході операції порожнин, товщину склеральних лоскутів, висоту і структуру фільтраційної подушки і так далі. Visante OCT є досить цінним діагностичним приладом у фоторефракційній хірургії та хірургії рогівки, оскільки дозволяє отримати достовірні і високоточні дані, багато з яких неможливо отримати іншими способами.

**Ключові слова:** оптична когерентна томографія, діагностика, передній відділ ока.

## OPTICAL COHERENT TOMOGRAPHY FOR THE OCULAR ANTERIOR SEGMENT IN OPHTHALMOLOGIST'S PRACTICE

*Zavgorodnyaya N. G., Kolesnik E. A., Zavgorodnyaya T. S., Bezdenezhnaya O. A.*

*Zaporizhzhya Medical Academy of Postgraduate Education*

The Visante OCT system is being applied to high-resolution, non-contact optical coherence tomography customized for the anterior segment including cornea, iris, elements of the anterior chamber angle. This method is easy, noninvasive, non-contact, and as a result it provides high-resolution corneal images. The anterior segment can be evaluated and measured pre and postoperatively after image acquisition using the analysis mode of the Visante OCT system's software. Practical tools enable planning and measurement of anterior segment ocular structures, including anterior chamber depth (ACD), anterior chamber angles and anterior chamber diameter (commonly referred to as angle-to-angle distance). The Visante OCT system enables measurement of all visualized anatomic structures and implants, sizes of the cavities formed during a surgery, scleral flaps thickness, bleb height and structure. The Visante OCT system is unique because it provides clear, highly detailed, in-depth images of the anterior chamber which cannot be obtained by another methods.

**The key words:** optical coherent tomography, diagnostic, ocular anterior segment.