УДК 617.-7-007.618-07

В.П. КОЖЕМ'ЯКО[1], О.О. ШТЕЛЬМАХ[1], Н. В. МАЛАЧКОВА[2] ©

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ ГЛАУКОМИ

[1]Вінницький національний технічний університет,
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна
E-mail: cafedralot@gmail.com

[2]Вінницький національний медичний університет
21018, вул. Пирогова, 56, м. Вінниця, Україна
E-mail: optimal08@mail.ru

Анотація. В роботі проведений аналіз основних сучасних методів діагностики глаукоми, які широко використовуються на сьогоднішній день в медицині. Одними з прогресивних розглядаються оптичні методи та системи, які дозволяють проведення діагностики глаукоми безконтактно та швидко. Визначено подальші шляхи розвитку оптичних методів для експрес-діагностики глаукоми.

Аннотация. В работе проведен анализ основных современных методов диагностики глаукомы, которые широко используются сегодня в медицине. Одними из прогрессивных рассматриваются оптические методы и системы, которые позволяют проводить диагностику глаукомы бесконтактно и быстро. Определены дальнейшие пути развития оптических методов для экспресс-диагностики глаукомы.

Abstract. The paper analyzes the main modern methods of diagnosis of glaucoma, which are widely used today in medicine. The most advanced methods are optical methods and systems that allow the diagnose of glaucoma fast and without contact with eyes. Identified further the development of optical techniques for rapid diagnosis of glaucoma.

Ключові слова: глаукома, внутрішньоочний тиск (ВОТ), експрес-діагностика.

ВСТУП

На сьогоднішній день статистика говорить про те, що глаукомою страждають близько 1-2% людей в віці від 40 років, при цьому біля 25% випадків залишаються невиявленими. Якщо захворювання виникло в віці від 40 до 45 років, то без лікування це швидше за все призведе до повної сліпоти у віці 60-65 років. Лише рання діагностика та лікування глаукоми дозволяють зберегти зір.

Глаукома представляє собою групу офтальмологічних захворювань, які характеризуються пошкодженням та атрофією очного нерву, постійним або періодичним підвищенням внутрішньоочного тиску (ВОТ) та ведуть до часткової або повної втрати зору. Розвиток глаукоми починається з втрати периферійного зору, та закінчується змінами у всьому полі зору (рис. 1). Якщо внутрішньоочний тиск починає рости, а лікування не починається – зір поступово погіршується аж до повної втрати.

Тому дослідження методів експрес діагностики глаукоми є дуже актуальним завданням.

На сьогоднішній день глаукому класифікують: 1) по походженню: первинну, вторинну та вроджену; 2) по механізму підвищення внутрішньоочного тиску (ВОТ): відкритокутова та закритокутова; 3) по рівню ВОТ: з підвищеним ВОТ, з нормальним або псевдонормальним; 4) по ступеню ураження зорового нерву: початкова, розвинена, глибока та термінальна; 5) по протіканню захворювання: стабілізованна та нестабілізованна. Можна виділити основні типи глаукоми:

1. *Первинна відкритокутова* або хронічна глаукома – найбільш поширена форма глаукоми і на сьогоднішній день складає близько 90% випадків. Розвивається повільно та поступового пошкоджує очний нерв, яка пов'язана з порушенням дренажної системи ока і як результат погіршення відтоку внутрішньоочної рідини.

2. *Закритокутова глаукома* є не частим, близько 10% від всієї маси захворювань на глаукому, при якому підвищення внутрішньоочного тиску обумовлено механічним порушенням відтоку рідини внаслідок контакту райдужки з мережею дренуючих трабекул і краєм рогівки. Фактично звужуються

© В.П. КОЖЕМ'ЯКО, О.О. ШТЕЛЬМАХ, Н. В. МАЛАЧКОВА, 2011

канали відтоку рідини з ока, якщо відтік повністю блокується ВОТ підвищується до великих показників.

3. *Вторинна глаукома* виникає внаслідок офтальмологічних захворювань, які можуть призводити до підвищення ВОТ, таких як травма ока чи уветит або через використання стероїдних гормонів.

4. *Вроджена глаукома* – присутня від народження людини, найчастіше потребує хірургічного втручання ще в дитинстві.

Наукові дослідження направлені на розробку методів та засобів раньої діагностити (експрес-діагностики) глаукоми представляють велику актуальність для суспільства та сучасної медицини.

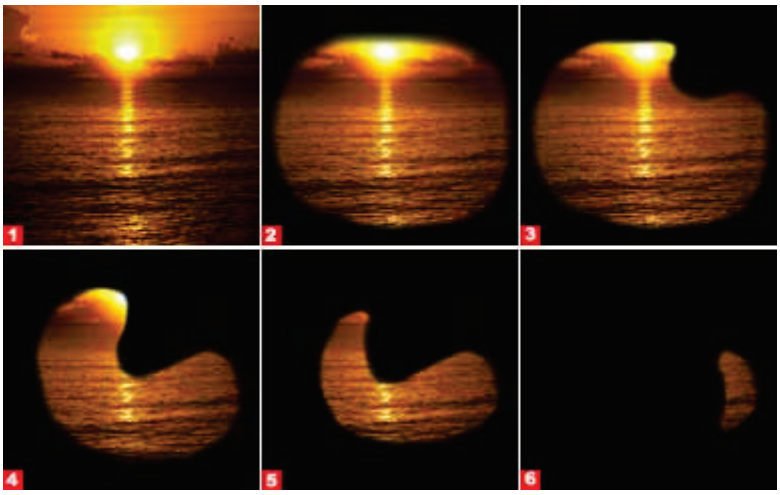

Рис. 1. Динаміка зміни поля зору при глаукомі

Високий рівень ВОТ спричиняє порушення волокон зорового нерву та призводить до атрофії та втрати своїх функцій.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТА МЕТА РОБОТИ

Актуальність дослідження та удосконалення методів діагностики глаукоми полягає в тому, що крім великого шансу втрати зору при нормальному перебігу захворювання, можливі випадки гострого приступу глаукоми (ургентний стан), що потребує невідкладного та адекватного лікування. В іншому випадку за декілька годин зоровий нерв може повністю загинути, та людина втратить зір на це око на все життя. Саме через такі особливості перебігу захворювання особливо актуальними є методи неінвазивної експрес діагностики глаукоми.

Метою статті є аналіз сучасних методів діагностики глаукоми та визначення пріоритетних напрямків подальшого дослідження та розробки саме зручних неівазивних методів та портативних пристроїв для проведення експрес-діагностики глаукоми при індивідуальному використанні.

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КЛАСИЧНИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ГЛАУКОМИ

На сьогоднішній день для діагностики глаукоми використовують близько 10 методів, які базуються на вимірюванні ВОТ ока людини та дають результати з середньою та високою точністю. В загальному випадку їх можна коласифікувати на *контактні* та *безконтактні.*

Тонометрія – основний метод визначення внутрішньоочного тиску. Принцип полягає в вимірюванні рівня деформації ока, за допомогою контакту з тонометром. Вимірювання тиску проводиться в положенні лежачи тонометром Маклакова (рис. 2) вагою 10 грам, при цьому тонометричний тиск не повинен перевищувати 26 мм рт. ст. (діапазон від 16 до 26 мм рт. ст.). Величина внутрішньоочного тиску приблизно однакова на обох очах (допустима різниця складає до 3 - 4 мм рт. ст.) [1]. Високою точністю вимірювання виділяється метод тонометрії Гольдмана, отримані при цьому величини ВОТ практично не відрізняються від показника істинного внутрішньоочного тиску, виміряного методом електронної тонографії [6]. Даний метод має свої недоліки, так як є контактним та існує вірогідність розвитку інфекційних захворювань ока, та часто потребує анестетично впливу через неприємні відчуття пацієнта.

Рис. 2. Вимірювання ВОТ тонометром Маклакова

Еластотонометрія [5] – метод ранньої діагностики глаукоми запропонований В.П. Філатовим. Заслуга розробки і впровадження методу в клініку належить С.Ф. Кальфа (метод Філатова-Кальфа). Методика полягає в послідовному вимірюванні внутрішньоочного тиску тонометрами Маклакова різної ваги: 5,0; 7,5; 10,0; 15,0. Принцип полягає в вимірюванні рівня деформації ока, за допомогою контакту з тонометром. Отримані тонометричні дані переносяться на систему координат: по лінії абсцис - вага кожного тонометра, по лінії ординат - відповідний внутрішньоочний тиск. Лінія, що з'єднує відмічені 4 точки, називається еластотонометричною кривою. Еластокрива нормального ока має висхідний характер, наближаючись за формою до прямої. Недоліком даного методу є довготривалість вимірювання та вірогідність розвитку інфекційних захворювань, дискомфорт та неприємні відчуття .

Електронна тонографія дозволяє отримати більш точні дані про показники гідродинаміки ока. Метод полягає у проведенні тонометрії за допомогою спеціального приладу електронного тонографу. Одним з підходів роботи електронного тонографа є використання приладів імпрессіонного типу (типу Шіотца), в якому використаний прецизійний перетворювач величини переміщення рогівки ока в частоту електричного сигналу. Конструктивно прилад складається з датчика, штатива для утримання датчика в процесі вимірювання та електронного блоку з цифровим індикатором. Інформація про величину ВОТ в мм рт. ст. видається приладом в цифровій формі, що дозволяє використовувати прискорену методику тонометрії – 1,5-2 хв. Датчик безпосередньо контактує з рогівкою ока пацієнта.

На дисплеї тонографу лікар аналізує дані про істинний (не тонометричний) внутрішньоочний тиск Р0, потім, за спеціальними таблицями обчислює основні показники гідродинаміки ока – коефіцієнт легкості відтоку С, хвилинний об’єм водянистої вологи F і коефіцієнт Беккера, який описується співвідношенням:

$$K_b = P_0 / C. \quad (1)$$

Таблиця 1.

Показники гідродинаміки ока людини в нормі [1]

Показник	Діапазон значень	Середнє значення
Істинний ВОТ (P_0)	10.48 –19 мм рт. ст.	14-16 мм рт. ст.
Хвилинний об’єм водянистої вологи (F)	1.1-4.0 мм^3 /хв	2.0 мм^3 /хв
Коефіцієнт легкості відтоку (С)	0.14-0.56 мм^3 /хв/мм рт. ст.	0.2-0.3 мм^3 /хв/мм рт. ст.
Коефіцієнт Беккера (K_b)	30-100	60-70

Недоліком даного методу можна назвати постійну потребу в стерилізації контактуючих поверхонь приладу з оком, низька портативність приладу.

Периметричні методи широко представлені сьогодні в діагностиці глаукоми. Методом кампіметрії виявляються дефекти центрального поля зору (рис. 3), ізоптоперіметрія являє собою методику послідовного дослідження меж поля зору об'єктами різної площі.

Кампіметрію застосовують тільки для дослідження ділянок поля зору в межах до 30-40 ° від центру з метою визначення величини сліпої плями, центральних і парацентральних дефектів, ангіоскотом, початкових стадій геміанопсії. Для кампіметрії використовують чорну матову дошку або

краще екран з чорної матерії розміром 1х1 або 2х2 м. Відстань від пацієнта до екрану зазвичай 1 м (іноді 2 м), при низькій гостроті зору досліджуваного ока використовують і більш близьку відстань – 25 або 50 см. Освітленість екрану зазвичай від 75 до 300 лк. Найчастіше застосовують білі або сірі випробувальні об'єкти у вигляді кола діаметром 1-3-5 мм і з коефіцієнтом відбиття 0,8-0,6-0,4. Чутливість дослідження вища, чим меньша освітленість екрану, розмір об'єкта, його контраст з фоном кампіметра. Об'єкти наклеєні на кінець плоскої чорної матовою палички довжиною 50-70 см.

Не обстежене око хворого прикритий щитком. Лікар в чорному халаті розташовується поруч з екраном з боку досліджуваного ока і поступово (зі швидкістю приблизно 3 см / с) пересуває об'єкт по радіусах (починаючи з горизонтального, де розташована сліпа пляма) від зовнішньої частини кампіметрія до центру. Досліджуваний повідомляє про зникнення об'єкта. Більш детальним дослідженням цієї ділянки поля зору визначають межі скотоми, відзначаючи їх крейдою або шпилькою (якщо екран з матерії). Результати дослідження переносять на спеціальну схему. Розміри фізіологічних і патологічних скотом, а також їх відстань від точки фіксації виражають у кутових градусах. Лінійні величини можна перевести в кутові за спеціальною таблицею.

Обидва методи дуже інформативні при початкових змінах поля зору, що дозволяє діагностувати глаукому на ранніх стадіях, та обумовлює його своєчасне звернення до фахівця-офтальмолога. Але існують недоліки, при кампіметрії необхідне правильне положення голови (без нахилу) на підставці для підборіддя і точна фіксація обстежуваним мітки в центрі кампіметрія, що ускладнює процес діагностики, низький рівень мобільності та довготривалий час обстеження.

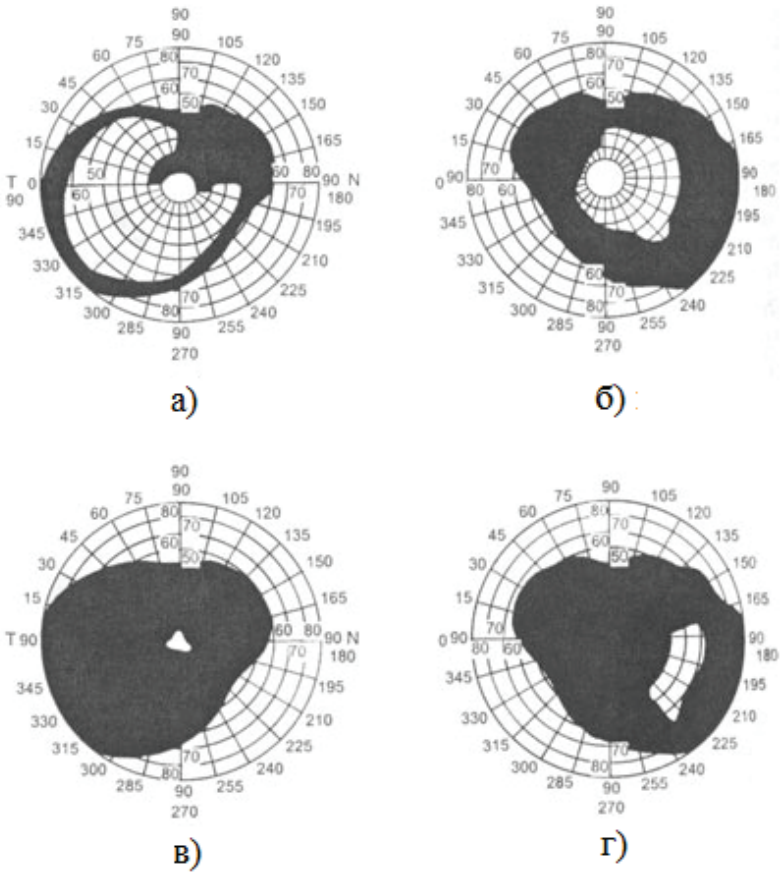

Рис. 3. Зміна периферичних меж поля зору при глаукомі (кінетична периметрія): а - звуження поля зору з передньої сторони; б - концентричне звуження; в, г - залишковий острівець центрального та периферичного поля зору

ОПТИЧНІ ТА ЛАЗЕРНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ГЛАУКОМИ

Гоніоскопія. Цей метод полягає в застосуванні спеціального типу товстої контактної лінзи з дзеркалами на внутрішній поверхні ока. Такі дзеркала дозволяють лікарю побачити внутрішню частину ока з різних позицій. Мета гоніоскопії - дослідження кута передньої камери ока. Лікар оцінює, відкритий

цей кут або закритий. Як зазначалося раніше, у людей з вузьким кутом є ризик розвитку глаукоми, що може призвести до гострого приступу глаукоми, що є суттєвим недоліком методу, а також те, що супровідні краплі для проведення гоніоскопії можуть викликати дискомфорт та викликати подразнення ока, алергічні реакції, головокружіння. Перевагою методу є те, що гоніоскопія дозволяє оцінити, що саме блокує дренажний кут передньої камери ока, наприклад, кровоносні судини, аномалії розвитку, пухлини кореня райдужки тощо.

Офтальмоскопія. Метод дозволяє лікарю оцінити стан очного дна, а отже, стан диска зорового нерва. Для проведення цього дослідження застосовується офтальмоскоп. В основу принципу роботи офтальмоскопа покладено поділ пучка світла, що освітлює очне дно, від пучка світла, відбитого від досліджуваного очного дна та потрапляючого в око спостерігача. Офтальмоскоп забезпечений спеціальним набором світлофільтрів, переміщуючихся панкратичною лінзою, яка дозволяє підсилити освітленість досліджуваного поля, потужною лампою, що дозволяє працювати при більш яскравому освітленні [7].

Щоб збільшити поле для огляду лікаря, в око пацієнту закапують препарат, який розширює зіницю. Для глаукоми характерно вдавлювання диска зорового нерва. Причиною такого вдавлення є підвищення внутрішньоочного тиску. Крім того, при атрофії нерва його диск стає блідим (так як порушений кровотік в ньому), що також можна побачити при офтальмоскопії. Перевагою данного методу перед класичними тонометричними методами є безпосередній візуальний контакт між досліджуваною ділянкою ока та лікарем. Недоліком даного методу є складність, а іноді і неможливість діагностики, якщо присутні запальні процеси, неможливість післяопераційної діагностики.

Скануюча лазерна поляриметрія. Даний метод має дуже високу специфічність та достовірність щодо діагностики глаукоми. В основі принципу лежить використання відбитих лазерних променів. Відбивання лазерних променів на різних рівнях від шару нервових волокон дає інформацію про його товщині в місці виходу з ока. Спеціальні комп'ютерні програми оброблюють отримані дані і на екрані монітору з'являється інформація у вигляді схем і діаграм. Перевагами даного методу є те, що можна на ранніх стадіях розвитку глаукоми виявити втрату нервових волокон сітківки, оцінити кількісно втрати нервових волокон. Неоціненну допомогу надає даний метод в оцінці ефективності лікування – є можливість зберігати результати попередніх досліджень і оцінювати динаміку процесу на тлі проведеного лікування [4]. Серед недоліків можна підкреслити низьку портативність, складна технічна реалізація методу та дороговизна.

Оптична когерентна томографія (ОКТ, time-domain OCT) широко використовується в сучасній медицині. Це неінвазивний і високоточний метод дослідження, за допомогою якого стало можливим отримувати зображення поперечного зрізу досліджуваних тканин.

Суть ОКТ полягає у вимірі часу затримки світлового променя, відбитого від досліджуваної тканини. Оскільки сучасне обладнання не дозволяє безпосередньо вимірювати цей параметр на таких малих просторових відрізках, робота ОКТ побудована на принципах світловий інтерферометрії. За допомогою розділювача світловий пучок розщеплюється на дві рівні частини, одинз яких спрямовується на досліджувану структуру, другий – на рухоме дзеркало (опорне плече).

Оператор шляхом зміщення робочої частини приладу створює умови для того того, щоб відстань до обох об'єктів була однаковою. Після цього відбиті промені сумуються, що викликає ефект інтерференції, який реєструється фотодетектором. Отримана амплітуда інтерферованої світлової хвилі характеризує здатність до відбиття конкретної точки досліджуваного об'єкта, опорне плече зміщується і виконується дослідження наступної точки. В результаті формується одномірний А-скан (axial scan), шляхом сумування декількох А-сканів отримуємо двомірне зображення, за аналогією з ультразвуковим дослідженням, називається В-сканом. Відстань між точками А-скану поздовжня (аксіальна), між сусідніми - поперечна.

Максимальна повздовжня роздільна здатність ОКТ, отримана в лабораторних умовах, становить 2-3 мкм. Цей результат досягнутий на нерухомих об'єктах з використанням в якості джерела світла фемтосекундного лазера. Однак комерційний варіант даної системи не був реалізований через її високу вартість, що є суттєвим недоліком даного методу, а також великі габарити, низький рівень портативності та неможливість індивідуального використання.

Максимальна роздільна здатність ОКТ в клініці представлена в сучасних приладах 8-10 мкм при швидкості сканування 400 А-сканів в секунду. Стандартне дослідження, що складається з 512 А-сканів, займає, трохи більше 1 секунди, що говорить про високу швидкодію та точність даного неінвазивного методу [2].

Спектральна ОКТ з'явилася з впровадженням в практику спектральних інтерферометрів, що використовують перетворення Фур'є (spectral / Fourier domain). Їх відмінністю від інтерферометра

Міхельсона є наявність спектрометра і високошвидкісної CCD - камери (CCD - charge-coupled device).

Джерелом світла є широкосмуговий суперлюмінесцентний світлодіод або напівпровідниковий лазерний діод низької потужності, що дозволяє отримати низькокогерентний промінь, який містить кілька довжин хвиль. Як і в time-domain ОСТ, світловий імпульс ділиться на дві рівні частини, одна з яких відбивається від фіксованого опорного плеча (дзеркала), друга - від досліджуваного об'єкта. Потім сигнали сумуються, а проінтерферований промінь світла розкладається на складові частини спектра, які одномоментно фіксуються CCD-камерою. Отриманий спектр інтерференції складається із сукупності світлових хвиль, відбитих від різних по глибині ділянок досліджуваного об'єкта. Потім з отриманого масиву даних шляхом перетворення Фур'є виділяються частотні складові, з яких формується А-скан (axial scan), що являє собою осьовий зріз вплощині по одній координаті. Таким чином, отримання лінійного скана відбувається не шляхом послідовного вимірювання відображають властивостей кожної окремої точки простору, а одночасно [3]. Глибина сканування при цьому дорівнює зоні когерентності.

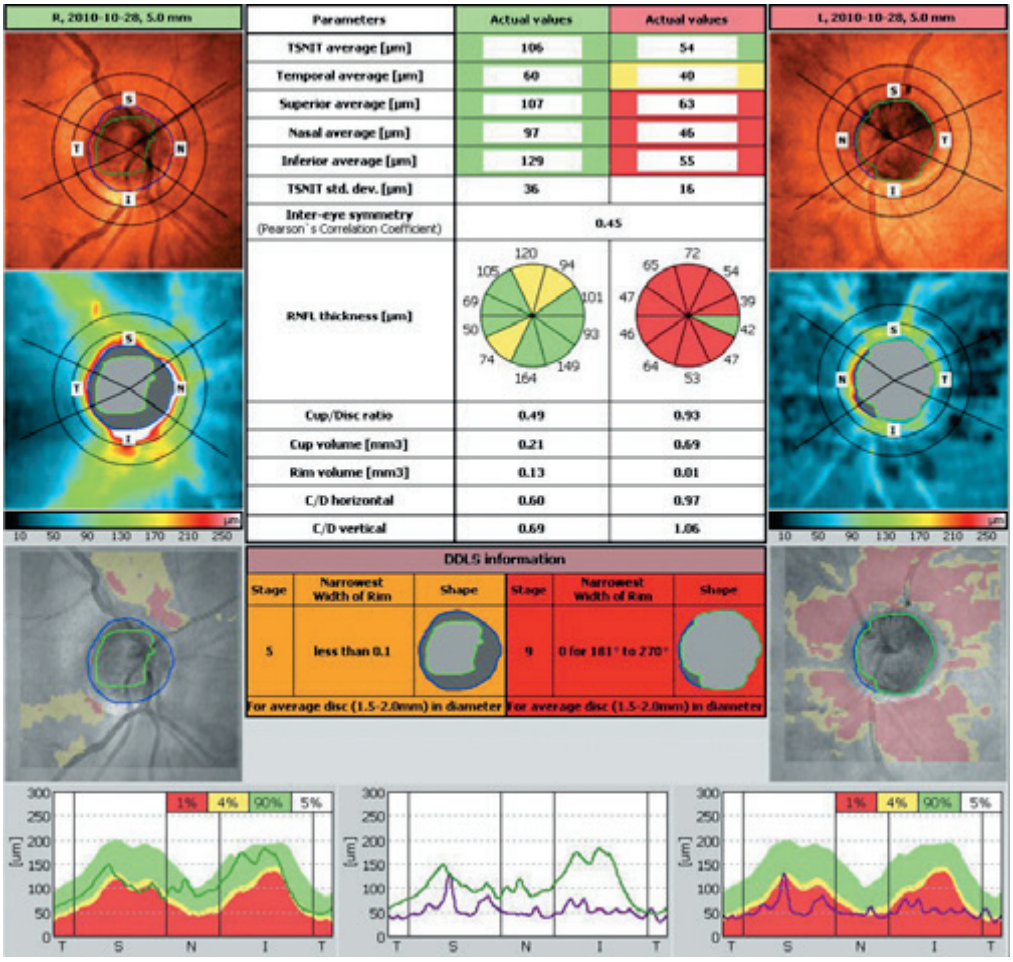

Рис. 4. Порівняльний аналіз правого і лівого очей пацієнта з первинною відктирокутовою глаукомою. Дослідження виконано на приладі SOCT Copernicus HR, Canon-Optopol [3]

Подібний принцип дослідження дозволяє подолати обмежувальні фактори, пов'язані зі швидкістю і точністю руху механічних частин інтерферометра, оскільки опорне плече залишається під час дослідження нерухомим.

Швидкість сканування спектральних ОКТ залежить від швидкості роботи CCD-камери і математичного перетворювача, а аксіальна роздільна здатність – від чутливості спектрометра.

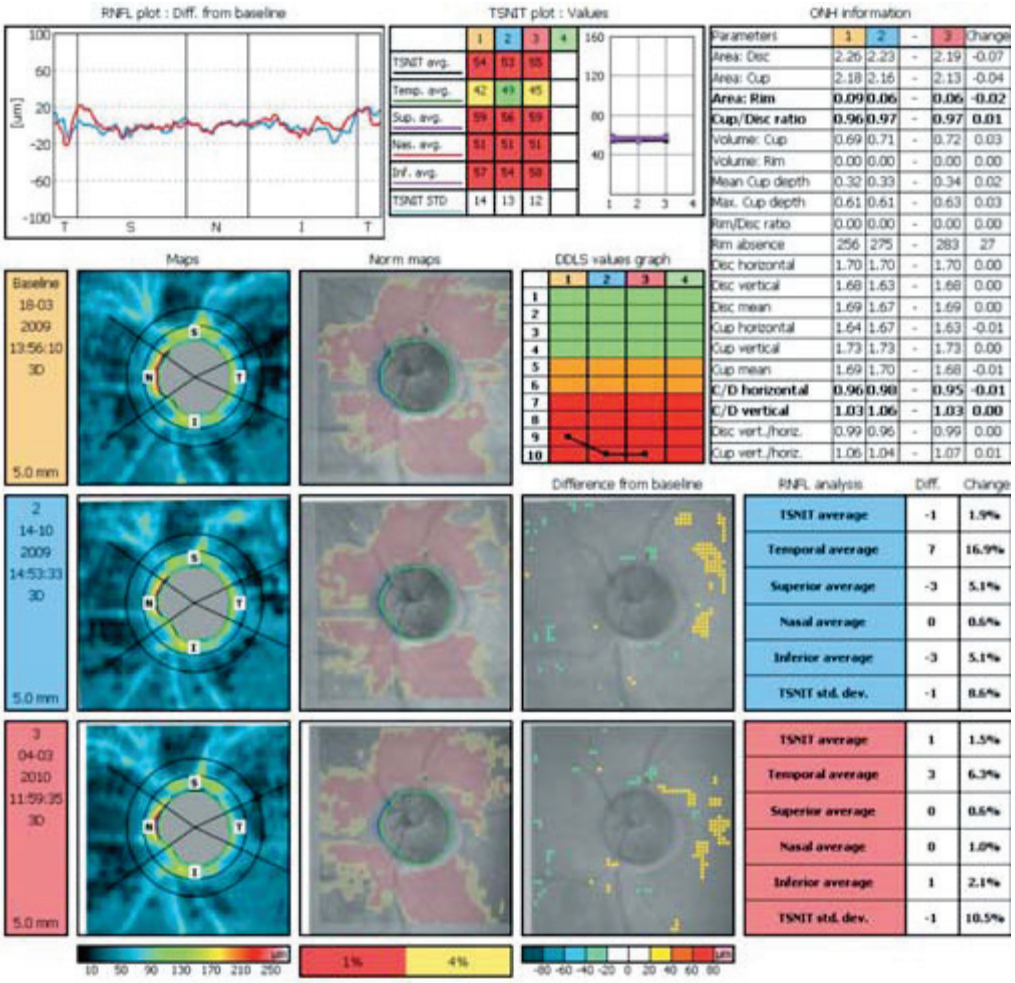

Рис. 5. Оцінка прогресування глаукомного процесу. Дослідження виконано на приладі SOCT Copernicus HR, Canon-Optopol [4]

Поперечна роздільна здатність всіх типів ОКТ обмежується аберраціями оптичної системи ока. Завдяки даному методу, спектральні ОКТ дозволяють виконувати більше 25 тис. лінійних сканів в секунду, перевершуючи за цим параметром оптичні томографи попереднього покоління більш ніж в 60 разів (деякі моделі - в 120 разів). Аксіальна роздільна здатність знаходиться в межах 3-8 мкм, поперечна - 10-15 мкм [2].

З огляду на проблематику захворювання на глаукому, можна чітко сказати, що сучасні методи діагностики повинні володіти високою швидкодією, технічна реалізація повинна відповідати високим показникам портативності. Майбутні дослідження повинні бути направлені на здешевлення реалізації сучасних методів, а основний напрям – неінвазивні методи для експрес-діагностики.

Оптичні методи та системи діагностики якісно відрізняються від традиційних та забезпечують значно вищі технічні характеристики та вищій рівень комфорту при їх використанні, а також дозволяють проводити швидко експрес-діагностику безконтактним способом. Завдяки використання світлового випромінювання як носія інформаційної вимірювальної величини представляється можливим здійснення багаторазового контролю внутрішньоочного тиску – як основної ознаки виникнення захворювання. Тому перспективним є дослідження нових підходів до створення пристроїв вимірювання ВОТ на основі ефекту модуляції оптичного випромінювання, шляхом зміни фізичного стану біологічного об'єкту (ока людини).

Шляхом до вирішення проблеми неінвазивного моніторингу може бути використаний принцип контролю зміни товщини поверхні ока потоком оптичного випромінювання вимірювального сенсору, що потребує більш детального подальшого дослідження.

ВИСНОВОК

В роботі проведений аналіз основних сучасних методів діагностики глаукоми, які широко використовуються на сьогоднішній день в медицині, що дозволило виявити їх переваги та недоліки.

Визначено, що одними з прогресивних є оптичні методи та системи, що дозволяє здійснювати моніторинг внутрішньоочного тиску (ВОТ) безконтактно та швидко. Визначено, що пріоритетним є дослідження та подальший розвиток оптико-електронних когерентних методів з метою підвищення точності вимірювань та простоти проведення медичної методики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глаукома / Клініка професора Столяренко: [Електронний ресурс]. – Режим доступу World Wide Web : http://www.glaukoma.info/diagnostika .
2. Спектральная оптическая когерентная томография: принципы и возможности метода / А.В. Свирин, Ю.И. Кийко, Б.В. Обруч, А.В. Богомолов // Клиническая офтальмология (Б-ка РМЖ). – 2009. – № 2. – С. 50-53.
3. Арефьева Ю.А. Спектральная оптическая когерентная томография высокого разрешения в диагностике и мониторинге глаукомы / Ю.А. Арефьева // Глаукома. Журнал НИИ ГБ РАМН. – 2010. – №4. – С. 51.
   Современные методы ранней диагностики глаукомы / Аптека тяньши - БАД и здоровый образ жизни: [Електронний ресурс]. – Режим доступу World Wide Web: http://www.tiensmed.ru/news/diagnostik-glaukoma-1.html .
4. Данчева Л.Д. Ранняя диагностика и медикаментозное лечение первичной глаукомы / Л.Д. Данчева, Д.Г. Плюшко, В.Н. Жукова // Методические рекомендации. Одесса. – 1978. – С. 8.
5. Илларионова А.Р. Исследование достоверности показаний тонометра для измерения внутриглазного давления через веко (ТГДЦ-01 "ПРА") / А.Р. Илларионова, Н.Г. Пилецкий // Клиническая офтальмология (Б-ка РМЖ). – 2001. –№ 2. –С. 55-56.
6. Офтальмоскоп электрический Водовозова ОЭВ-2 / [Паспорт технический] . – Харьков: Облполиграфиздат, 1981. – 13 с.

Надійшла до редакції 12.11.2011р.

КОЖЕМ‘ЯКО ВОЛОДИМИР ПРОКОПОВИЧ – засл. діяч науки і техніки України, академік АІНУ, д.т.н., проф., завідувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ШТЕЛЬМАХ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ – аспірант кафедри лазерної та оптоелектронної техніки Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, Україна.

МАЛАЧКОВА НАТАЛІЯ ВАЛЕНТИНІВНА – лікар офтальмолог першої категорії, к.м.н. викладач кафедри очних хвороб Вінницького національного медичного університету, м.Вінниця, Україна.