

# Порівняння спектроскопічних властивостей внутрішньоочної рідини у хворих з катарактою і первинною відкритокутовою глаукомою

С.В. Колотілов, В.О. Мельник, А.С. Литвиненко, С.О. Сотнік, О.О. Гуржій

ТОВ «Клініка Візіобуд-плюс», Київ; Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, Київ; e-mail: elenahurzhi@gmail.com

*Порівнювали спектроскопічні властивості внутрішньоочної рідини (ВОР) у пацієнтів з катарактою (60 пацієнтів, 60 очей) і комбінацією її та первинної відкритокутової глаукоми (ПВКГ, 36 пацієнтів, 36 очей). Зразки ВОР були взяті інтраопераційно. З анамнезу було відомо, що у передопераційному періоді пацієнти обох груп отримували різні види місцевої медикаментозної гіпотензивної терапії з різною кратністю та тривалістю закапування. Спектри поглинання зразків ВОР вимірювали в діапазоні довжин хвиль 190-1100 нм. Спостерігали дві смуги поглинання з максимумами при 202 та 267 нм незалежно від діагнозу (другий максимум у спектрах деяких зразків зміщений у довгохвильову ділянку). Середня оптична густина ВОР при 202 нм у пацієнтів без ПВКГ достовірно нижче порівняно зі значеннями у хворих з глаукомою. Така відмінність імовірно пояснюється накопиченням продуктів метаболізму у ВОР пацієнтів з ПВКГ, що в свою чергу може бути викликано сповільненням її потоку. Тим не менш статистично значимих відмінностей середньої оптичної густини ВОР при 267 нм між двома групами не спостерігається.*

*Ключові слова: катаракта; первинна відкритокутова глаукома; оптична густина внутрішньоочної рідини; спектروفотометрія.*

## ВСТУП

Глаукома – хронічне прогресуюче захворювання, яке відноситься до групи оптичних нейропатій і характеризується постійним чи періодичним підвищенням внутрішньоочного тиску (ВОТ), атрофією зорового нерва і виникненням характерних дефектів поля зору у зв'язку з загибеллю гангліозних клітин сітківки та пошкодженням їх аксонів [1, 2]. Найбільш розповсюдженою є первинна відкритокутова глаукома (ПВКГ). За останніми прогнозами ВОЗ очікується збільшення кількості хворих з глаукомою до 60,5 млн до 2020 р., серед яких 74% - пацієнти з ПВКГ [1]. Провідним фактором ризику її прогресування є підвищення ВОТ [3]. Це найбільш ймовірно зумовлено підвищенням резистентності шляхів відтоку внутрішньоочної рідини, особливо в ділянці трабеку-

лярної сітки, здебільшого за рахунок змін юкстаканалікулярної тканини [4]. Проте, незважаючи на велику кількість проведених досліджень, в тому числі дослідження змін трабекулярної сітки та особливостей складу внутрішньоочної рідини, дотепер не існує єдиної теорії розвитку глаукоми.

До складу ВОР входять неорганічні іони –  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , бікарбонат- і фосфат-іони; високомолекулярні сполуки – білки, гіалуронова кислота, а також низка низькомолекулярних органічних речовин – амінокислоти (зокрема тирозин і цистеїн), аскорбінова кислота і аскорбат-аніони, глюкоза, глутатіон, сечова кислота тощо. Такі біохімічні зміни складу ВОР, як різниця концентрацій гіалуронової кислоти [5], трансформуючого фактора росту  $\beta$  (ТФРВ) [6], ендотеліну-1 [7] і загального білка [8,9], можуть відіграти важ-

© С.В. Колотілов, В.О. Мельник, А.С. Литвиненко, С.О. Сотнік, О.О. Гуржій

ливу роль у патофізіології ПВКГ. У деяких дослідженнях вивчалися зміни біохімічного складу ВОР у хворих з різними типами глаукомного процесу та було показано, що поряд з накопиченням псевдоексfolіативного матеріалу, порушується електролітний баланс ВОР [9], а також збільшується концентрація метаболітів (оксиду азоту [10] та ін.), різних фракцій ліпідів (сфінголіпіди, цераміди [11]) і білків [8,9]. Білковий склад ВОР значно впливає на морфологію клітин трабекулярної сітки і експресію білків [12].

Таким чином, аналіз складу ВОР може бути корисним для уточнення певних ланцюгів патогенезу глаукоми та успішного лікування пацієнта. Концентрацію різних речовин у ВОР людини і тварин з низкою захворювань визначали за допомогою деяких аналітичних методів, в тому числі високоефективної рідинної хроматографії з електрохімічним детектуванням [13], ензиматичних [14], спектроскопічних методів [15], більшість з яких є технічно трудомісткими та потребують спеціального обладнання або ж дають змогу визначити лише 1-2 речовини одночасно. Також оцінювали інтегральні показники складу ВОР, наприклад, загальну антиоксидантну ємність (total reactive antioxidant potential) [16].

Деякі речовини внутрішньоочної рідини поглинають світло в УФ-спектрі в діапазоні хвиль довжиною 200-300 нм, зокрема, білки (а саме, амінокислотні залишки тирозину, триптофану та фенілаланіну [17]), аскорбінова кислота [18] і глутатіон [19]. Таким чином, УФ-спектр може розглядатися як інтегральна характеристика вмісту метаболітів у ВОР. У літературі описане дослідження УФ-спектрів поглинання ВОР, у якому показано, що спектр поглинання суттєво різниться залежно від виду тварини, при чому їхня належність до певного класу не корелює зі спектральними характеристиками [20]. Ідея роботи полягала в пошуку відмінностей (або спростування припущення про їх існування) між спектром поглинання ВОР людини і наявністю у неї глаукоми.

Мета нашої роботи - порівняння електронних спектрів поглинання зразків ВОР у пацієнтів з діагнозом катаракти та її комбінацією з ПВКГ, а також встановлення існування відмінностей між параметрами спектра поглинання (положенням піків на спектрі та оптичною густиною ВОР при їх довжинах хвиль) та наявністю глаукоми.

## МЕТОДИКА

У дослідженні брали участь 96 пацієнтів (96 очей), серед них 60 % (58 пацієнтів) – жінки, середній вік яких становив 66,9 роки, 40 % (38 пацієнтів) – чоловіки, середній вік – 65,2 роки. Хворі були поділені на 2 групи. До першої групи увійшли 60 пацієнтів (60 очей), котрим проводили факоемульсифікацію (ФАКО) катаракти з імплантацією інтраокулярної лінзи (ІОЛ) за стандартною методикою. Другу групу склали 36 пацієнтів (36 очей) з катарактою та ПВКГ, яким виконували комбіноване оперативне лікування: модифікована тунельна трабекулопунктура (МТП) та ФАКО з імплантацією ІОЛ. Згідно з класифікацією Нестерова-Буніна, у 19 пацієнтів (52,7%) було діагностовано глаукому II стадії, у 7 пацієнтів (19,4%) – III стадії, у 10 пацієнтів (27,9%) – I стадії. З нормальним ВОТ було 9 пацієнтів (25%), з помірно підвищеним – 16 (44,4%) та з високим – 11 (30,6%). Хворі обох груп були оглянуті в період від 1 тиж до 1 міс до операції. У передопераційному періоді вони отримували різні види місцевої медикаментозної гіпотензивної терапії з неоднаковою кратністю та тривалістю закапування. Також всім пацієнтам робили інстиляції антибактеріальних препаратів (офтаквікс – левофлоксацин; «Santen», Фінляндія) в передопераційному періоді для попередження розвитку інфекційних ускладнень та інстиляції препаратів для місцевої анестезії (алкаїн – проксиметокан; «Alcon», США) під час операції. Відбирали ВОР об'ємом 10–200 мкл інтраопераційно перед проведенням екстракції катаракти. Застосову-

вали стерильний інсуліновий шприц з голкою 26 gauge через перший парацетез, після чого рідину поміщали в стерильну пробірку Епендорф. Зразки зберігали в холодильнику при +5 °С без попереднього заморожування чи стерилізації. Час, що пройшов з моменту їх відбору до моменту дослідження, вимірювали та фіксували. Якщо не вказано іншого, аналіз проводили через 24 год після відбору зразків.

Спектри поглинання зразків ВОР (виражені як залежності оптичної густини розчину в безрозмірних одиницях логарифмічної шкали від довжини хвилі випромінювання в нанометрах) вимірювали в діапазоні довжин хвиль 190–1100 нм за допомогою спектрофотометра Specord 210 («Analytic Jena AG», Німеччина). Порцію 10–100 мкл рідини (залежно від наявної кількості) вміщували в кварцову кювету товщиною 10 мм, об'єм доводили до 2 мл фізіологічним розчином (0,9 %-м розчином хлориду натрію в дистильованій воді) та ретельно перемішували. Вимірювання проводили проти фізіологічного розчину.

Враховуючи, що точні концентрації у ВОР речовин, що поглинають, невідомі, а коефіцієнти їхньої екстинкції можуть істотно відрізнятись, для порівняння зразків оптичну густину проби перераховували на умовну оптичну густину нерозведеної ВОР, яка далі по тексту позначається як *оптична густина ВОР*. Останню при довжині хвилі  $\lambda$  визначали за формулою (обговорення застосованих рівнянь наведено в розділі «Результати та обговорення»):

$$A_{\lambda} = A_{\lambda_{\text{розв}}} V_{\text{розв}} / V_{\text{проби}}$$

де  $A_{\lambda_{\text{розв}}}$  – оптична густина розведеної ВОР при довжині хвилі  $\lambda$ .

$V_{\text{розв}}$  (мкл) – об'єм розведеної рідини в кюветі (2000 мкл у всіх зразках),

$V_{\text{проби}}$  (мкл) – об'єм порції досліджуваної рідини.

Статистичну обробку значень оптичної густини ВОР проводили порівнянням довірчих інтервалів ( $P < 0,05$ ) середніх значень у межах груп, а також використовуючи критерій  $t$  Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ:

В електронному спектрі поглинання ВОР пацієнтів в УФ-ділянці (типовий спектр поглинання зразка ВОР наведено на рис. 1) спостерігається смуга поглинання в діапазоні 230–300 нм, максимум якої в абсолютній більшості випадків знаходиться при  $267 \pm 1$  нм. Наявність цієї смуги може пояснюватися поглинанням УФ-випромінювання ароматичними кільцями та системами спряжених подвійних зв'язків (електронні переходи типу  $\pi-\pi^*$ ) в органічних частинках [21], що є у ВОР. Крім того, між 190 та 220 нм спостерігається смуга поглинання з максимумом при  $202 \pm 1$  нм. Наявність цієї смуги може пояснюватися поглинанням УФ-випромінювання фрагментами органічних молекул з насиченими (переходи типу  $\sigma-\sigma^*$ ) або неспряженими подвійними зв'язками (переходи типу  $\pi-\pi^*$ ). Сталість форми спектра та положення максимумів смуг поглинання ( $202 \pm 1$  і  $267 \pm 1$  нм) для різних зразків свідчить про те, що поглинання випромінювання в цьому діапазоні різними зразками ВОР зумовлене однаковим набором речовин, а відношення їхніх концентрацій одна до одної в різних зразках близькі (на відміну від сумарної концентрації таких речовин, що буде описано нижче).

Оптична густина, ум. од.

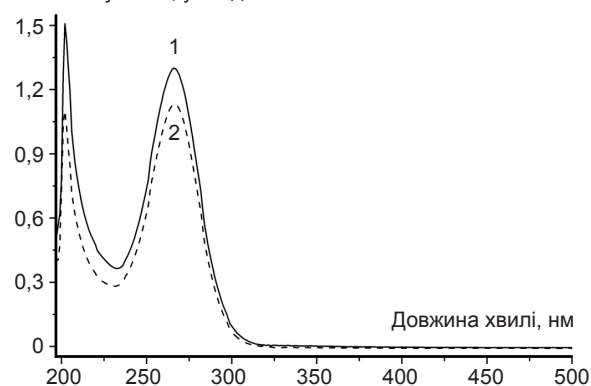


Рис. 1. Типові спектри поглинання досліджених зразків внутрішньоочної рідини кожної з досліджених груп (1 – пацієнти з катарактою та первинною відкритокутовою глаукомою, 2 – хворі лише з катарактою). Зразки розведено в 20 разів

Середнє значення оптичної густини ВОР при довжині хвилі 202 нм (рис. 2) у пацієнтів другої групи було на 27 % більше, ніж у хворих першої групи ( $P < 0,05$ ). При довжині хвилі 267 нм не спостерігалось статистично значимої різниці цього показника між першою та другою групами.

У трьох досліджених випадках (2 зразки належать пацієнтам з катарактою та ПВКГ, 1 – пацієнту лише з катарактою) пік у діапазоні 230–300 нм зміщений та викривлений (рис. 3) порівняно зі спектрами решти 93 зразків (приклад спектрів двох з цих 93 зразків наведено на рис. 1, на спектрах решти 91 спостерігаються піки тієї самої форми та при тих самих значеннях довжин хвиль, що і на рис. 1, але оптичні густини піків змінюються від зразка до зразка). У решті деталей спектри цих 3 зразків подібні до таких інших 93 зразків, зокрема, наявний пік при довжині хвилі 202 нм тієї ж форми. Разом з тим у результатах обстеження цих 3 пацієнтів не виявлено якихось інших характерних особливостей, які відрізняли б їх від 93 пацієнтів з типовим спектром ВОР.

Спектр поглинання зразка ВОР при вказаному способі зберігання змінюється з часом. Через добу після відбору оптична густина при довжині хвилі 267 нм знижується

Середня оптична густина ВОР, ум. од.

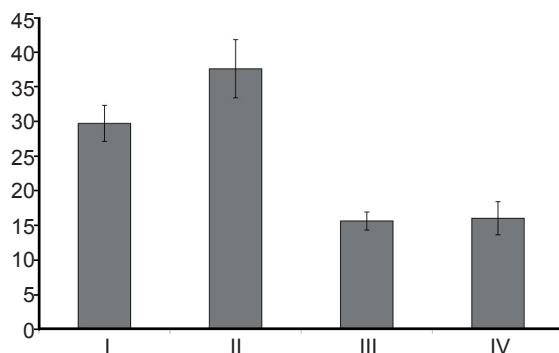


Рис. 2. Порівняння середніх оптичних густин внутрішньоочної рідини при довжинах хвиль максимумів піків у пацієнтів; I та III – пацієнти з катарактою (пік при 202 та 267 нм відповідно), II та IV – пацієнти з катарактою та первинною відкритокутовою глаукомою (пік при 202 та 267 нм відповідно)

Оптична густина, ум. од.

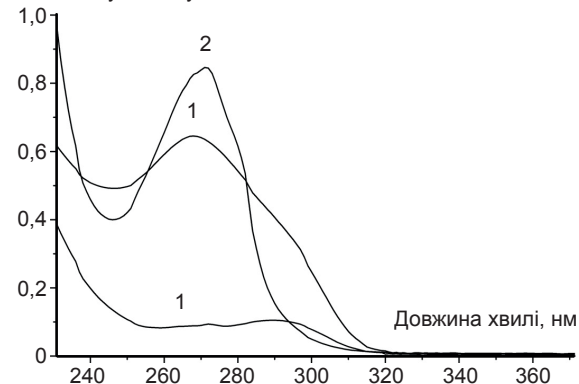


Рис. 3. Спектри поглинання зразків внутрішньоочної рідини, що відрізняються за формою та положенням піка від спектрів решти досліджених зразків (цифра 1 позначає зразки, що належать пацієнтам з катарактою та глаукомою, 2 – пацієнти лише з катарактою). Для наочності показано лише діапазон довжин хвиль від 230 до 370 нм, масштаб осей змінено порівняно з рис. 1

ся в середньому на  $17 \pm 6$  % (рис. 4, вказане дослідження проводили для 6 зразків – по 3 зразки з кожної групи), при довжині хвилі 202 нм – зростає в середньому на  $17 \pm 10$  %. При вимірюванні спектрів зразків, що зберігалися протягом 1–2 тиж, спостерігається зсув положення піка при 267 до 290 нм. Зміна спектрів зразків ВОР із часом може бути пов'язана з денатурацією білків, окисненням аскорбінової кислоти киснем повітря, а та-

Оптична густина ВОР, ум. од.

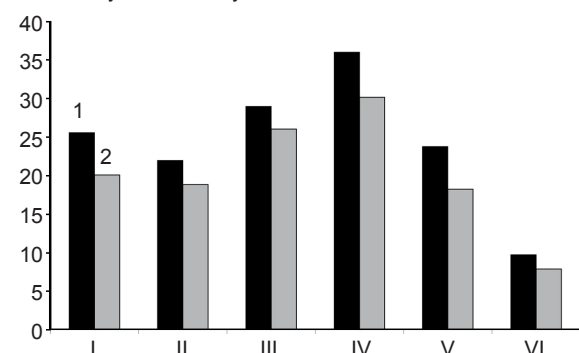


Рис. 4. Зміна оптичної густини внутрішньоочної рідини (при довжині хвилі піка  $267 \pm 1$  нм) для 6 зразків через добу після відбору (1 – значення, виміряне в той же день, 2 – через добу). 3 зразки (I–III) належать пацієнтам лише з катарактою, інші 3 (IV–VI) – з глаукомою та катарактою

кож бактеріальним перетворенням органічних речовин.

Згідно з законом Бугера-Ламберта-Бера оптична густина розчину  $A_\lambda$  при довжині хвилі  $\lambda$  лінійно залежить від концентрації речовини, що поглинає випромінювання [21]:

$$A_\lambda = \varepsilon_\lambda \cdot c \cdot l,$$

де  $l$  – товщина кювети (у нашій роботі була сталою),  $c$  – молярна концентрація речовини, що поглинає,  $\varepsilon_\lambda$  – коефіцієнт екстинкції речовини, що поглинає, при довжині хвилі  $\lambda$  (для певної речовини та заданої довжини хвилі – величина стала). Аліквоту зразка ВОР перед вимірюваннями розводили фізіологічним розчином для отримання необхідного для вимірювання об'єму рідини. Значення оптичної густини при цьому потрапляли у придатний для точних вимірювань діапазон; якщо воно виявлялося надто високим, зразок розводили додатково. Таким чином, вимірювана величина  $A_\lambda$  пропорційна концентрації речовини у розведеному зразку, що дає змогу обчислити параметр, пропорційний до концентрації у вихідному зразку ВОР.

$$c = A_\lambda / (\varepsilon_\lambda \cdot l).$$

$c_0 = c \cdot (V_{\text{розв}} / V_{\text{проби}}) = A_\lambda / (\varepsilon_\lambda \cdot l) \cdot (V_{\text{розв}} / V_{\text{проби}}) = [V_{\text{розв}} / (\varepsilon_\lambda \cdot l)] \cdot [A_\lambda / V_{\text{проби}}]$ , причому  $V_{\text{розв}} / (\varepsilon_\lambda \cdot l)$  у рамках цієї роботи є константою (при певній довжині хвилі  $\lambda$ ).

Різниця в середній оптичній густині ВОР при довжині хвилі максимуму піка  $202 \pm 1$  нм між пацієнтами першої групи (лише катаракта) та другої (ПВКГ та катаракта) відповідає більш високому середньому вмісту органічних речовин, що поглинають при 202 нм, у ВОР пацієнтів з ПВКГ та катарактою, порівняно зі значеннями у хворих лише з катарактою. Враховуючи, що ймовірною причиною підвищення ВОТ при глаукомі є уповільнення відтоку рідини через трабекулу [22] (внаслідок збільшення об'єму клітин, що вистилають структури трабекулярної сітки і шлеммового каналу [23], накопичення екстрацелюлярного матеріалу в просвітах трабекулярної сітки, а

також втрати нею клітин [24]), підвищення концентрації органічних сполук у ВОР може також бути пов'язано зі зниженням швидкості їхнього видалення з її відтоком при збереженні незмінної швидкості їхнього утворення.

## ВИСНОВКИ

В УФ-спектрах поглинання ВОР пацієнтів в діапазоні 190–300 нм спостерігаються дві смуги поглинання. У більшості випадків форма та положення максимуму цих смуг ( $202 \pm 1$  та  $267 \pm 1$  нм) не залежить від наявності чи відсутності ПВКГ. Подібність положень максимумів та форм смуг поглинання для різних зразків може пояснюватися тим, що поглинання випромінювання в різних зразках зумовлено одними і тими ж речовинами, і співвідношення їхніх концентрацій у різних зразках близькі. Водночас середня оптична густина ВОР при довжині хвилі максимуму поглинання 202 нм у групах пацієнтів з та без ПВКГ відрізняється, що може свідчити про різну сумарну концентрацію речовин, що поглинають при цій довжині хвилі. Середня оптична густина ВОР при 202 нм у групі пацієнтів без ПВКГ достовірно нижча порівняно з групою пацієнтів з даним захворюванням, що може бути пов'язано із накопиченням продуктів метаболізму у ВОР пацієнтів з ПВКГ, що в свою чергу може бути викликане уповільненням її відтоку у цих пацієнтів. Однак статистично значимої різниці середньої оптичної густини ВОР при 267 нм між групами пацієнтів з і без ПВКГ не спостерігається.

Спектрофотометрія внутрішньоочної рідини може бути дієвим інструментом для додаткової діагностики пацієнтів з патологією органа зору, однак, враховуючи зміну оптичної густини при зберіганні, важливим є проведення вимірювань через певні (фіксовані) проміжки часу після відбору зразка.

**S.V. Kolotilov, V.O. Melnyk, A.S. Lytvynenko,  
S.O. Sotnik, O.O. Hurzhii**

### **COMPARISON OF SPECTROSCOPIC PROPERTIES OF INTRAOCULAR FLUID IN PATIENTS WITH CATARACT AND PRIMARY OPEN-ANGLE GLAUCOMA**

This paper presents a comparison of spectroscopic properties of aqueous humour in patients with cataract (60 patients, 60 eyes) and combination of cataract and primary open angle glaucoma (POAG, 36 patients, 36 eyes). The samples of aqueous humour were collected during the surgery. Both groups of patients were treated with different types of local drug antihypertensive therapy with different multiplicity and duration of instillation during the preoperative period. The absorption spectrum of aqueous humour were measured in the wavelength range 190–1100 nm. There were two absorption bands with maximums at 202 and 267 nm in the absorption spectrum (2nd maximum of some samples was shifted to larger wavelengths). The mean absorbance of aqueous humour at 202 nm in patients without POAG was significantly lower than in patients with POAG. This difference could be explained with accumulation of metabolites in aqueous humour of patients with POAG, which in turn may be caused by deceleration of aqueous humour flow in patients with POAG. Meanwhile, there were no statistically significant differences of mean absorbance of aqueous humour at 267 nm between the patients of both groups.

Key words: cataract; primary open-angle glaucoma; optical density of aqueous humour; spectroscopy.

*Ophthalmological Clinic "Visiobud plus", Kyiv; Institute of Physical Chemistry of L.B. Pisargevskiy NAS Ukraine, Kyiv*

**С.В. Колотилов, В.А. Мельник,  
А.С. Литвиненко, С.А. Сотник, Е.А. Гуржий**

### **СРАВНЕНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВНУТРИГЛАЗНОЙ ЖИДКОСТИ У БОЛЬНЫХ С КАТАРАКТОЙ И ПЕРВИЧ- НОЙ ОТКРЫТОУГОЛЬНОЙ ГЛАУКОМОЙ**

В данной работе представлено сравнение спектроскопических свойств внутриглазной жидкости (ВГЖ) у больных с катарактой (60 пациентов, 60 глаз) и комбинацией ее и первичной открытоугольной глаукомы (ПОУГ, 36 пациентов, 36 глаз). Забор образцов ВГЖ произведен интраоперационно. Из анамнеза было известно, что в предоперационном периоде пациенты обеих групп получали разные виды местной медикаментозной гипотензивной терапии с различной кратностью и длительностью закапывания. Спектры поглощения образцов ВГЖ измеряли в диапазоне длин волн 190–1100 нм. Независимо от диагноза наблюдали две полосы поглощения с максимумами при 202 и 267 нм (второй максимум на спектрах некоторых образцов смещен в длинноволновую область). Средняя оптическая плотность ВГЖ при 202 нм у пациентов без

ПОУГ достоверно ниже по сравнению с пациентами с глаукомой. Такое различие может объясняться накоплением продуктов метаболизма во ВГЖ у пациентов с ПОУГ, что в свою очередь может быть вызвано замедлением ее тока. В то же время статистически значимых отличий средней оптической плотности ВГЖ при 267 нм между двумя группами не наблюдается.

Ключевые слова: катаракта; первичная открытоугольная глаукома; оптическая плотность внутриглазной жидкости; спектрофотометрия.

### **REFERENCES**

1. Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol.* 2006; 90: 262–7.
2. Kwon Y.H., Fingert J.H., Kuehn M.H., Alward W.L. Primary open-angle glaucoma. *N Engl J Med.* 2009; 360: 1113–24. doi: 10.1056/NEJMra0804630.
3. Weinreb RN, Khaw PT. Primary open-angle glaucoma. *Lancet.* 2004; 22: 1711–20.
4. Mäepea O, Bill A. Pressures in the juxtacanalicular tissue and Schlemm's canal in monkeys. *Exp Eye Res.* 1992; 54: 879–83.
5. Navajas EV, Martins JR, Melo LA Jr et al. Concentration of hyaluronic acid in primary open-angle glaucoma aqueous humor. *Exp Eye Res.* 2005; 80: 853–7.5.
6. Picht G, Welge-Luessen U, Grehn F, Lütjen-Drecoll E. Transforming growth factor beta 2 levels in the aqueous humor in different types of glaucoma and their relation to filtering bleb development. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2001; 239: 199–207.
7. Koliakos GG, Konstas AG, Schlötzer-Schrehardt U et al. Endothelin-1 concentration is increased in the aqueous humour of patients with exfoliation syndrome. *Br J Ophthalmol.* 2004; 88: 523–7.
8. Beardsley TL, Shields MB. Effect of timolol on aqueous humor protein concentration in humans. *Am J Ophthalmol.* 1983; 95: 448–50.
9. Prata Tdos S, Navajas EV, Melo LA Jr, Martins JR, Nader HB, Belfort R Jr. Aqueous humor protein concentration in patients with primary open-angle glaucoma under clinical treatment. *Arq Bras Oftalmol.* 2007; 70: 217–20.
10. Kotikoski H1, Moilanen E, Vapaatalo H, Aine E. Biochemical markers of the L-arginine-nitric oxide pathway in the aqueous humour in glaucoma patients. *Acta Ophthalmol Scand.* 2002 Apr; 80(2): 191–5.
11. Ayman J. Aljohani, Gustavo C. Munguba. Sphingolipids and ceramides in human aqueous humor *Molecular Vision* 2013; 19.
12. Fautsch MP, Howell KG, Vrabel AM, Charlesworth CM, Muddiman DC, Johnson DH. Primary trabecular meshwork cells incubated in human aqueous humor differ from cells incubated in serum supplements. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2005; 30: 1035–40.
13. Stuart P. Richer, R.C. Rose. Water soluble antioxidants in

- mammalian aqueous humor: interaction with UV B and hydrogen peroxide. *Vis Res.* 1998;38: 2881–88.
14. E. de Berardinis, O. Tieri, A. Polzella and N. Iuglio, The Chemical Composition of the Human Aqueous Humour in Normal and Pathological Conditions. *Exp Eye Res.* 1965; 4:179-186.
15. Tiago dos Santos Prata; Eduardo Vitor Navajas; Luiz Alberto Soares Melo Jr.; João Roberto Maciel Martins; Helena Bonciani Nader; Rubens Belfort Jr., Aqueous humor protein concentration in patients with primary open-angle glaucoma under clinical treatment. *Arq Bras Ophtalmol.* 2007;70(2):217-20.
16. Sandra M. Ferreira, S.Fabián Lerner, R. Brunzini, Pablo A. Evelson, Susana F. Llesuy, Oxidative stress markers in aqueous humor of glaucoma patients. *Amer J Ophthalmol.* 2004; 137(1);62–69.
17. Olson, B. J. and Markwell, J. 2007. Assays for Determination of Protein Concentration. *Cur Prot Prot Sci.* 48:3.4:3.4.1–3.4.29.
18. S. A. Markarian \* and H. R. Sargsyan, Electronic absorption spectra of ascorbic acid in water and water-dialkyl-sulfoxide mixtures, *J Appl Spectroscopy.* 201; 78(1):6-9.
19. M. V. Riley, R. F. Meyer and E. M. Yates, Glutathione in the aqueous humor of human and other species. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1980; 19(1):94-96.
20. Amund Ringvold, Erlend Anderssen Egil Jellum, Ellen Bjerkås, Geir A. Sonerud, Peder J. Haaland, Tone Pahle Devor, Inge Kjønneksen, UV-Absorbing Compounds in the Aqueous Humor from Aquatic Mammals and Various Non-Mammalian Vertebrates, *Ophthalm Res.* 2003;35:208–16.
21. O.V. Sverdlova. Electronic spectra in organic chemistry. *L Chemistry.* 1985; 2: 248. [Russian].
22. Charles W. McLaughlin, Mike O. Karl, Sylvia Zellhuber-McMillan. Electron probe X-ray microanalysis of intact pathway for human aqueous humor outflow. *Amer J Physiol Cell Physiol.* 2008; 295(1): 1083-91.
23. Al-Aswad LA, Gong H, Lee D, O'Donnell ME, Brandt JD, Ryan WJ, Schroeder A, Erickson KA. Effects of Na-K-2Cl cotransport regulators on outflow facility in calf and human eyes in vitro. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1999; 40: 1695–1701.
24. B'Ann True Gabelt, Paul L. Kaufman. Changes in aqueous humor dynamics with age and glaucoma *Progress in Retinal and Eye Res.* 2005; 24: 612-37.

*Матеріал надійшов  
до редакції 25.05.2016*