

О. П. Витовская<sup>1</sup>, И. В. Плюто<sup>2</sup>, С. А. Таха<sup>1</sup><sup>1</sup>Национальный медицинский университет имени А. А. Богомольца МЗ Украины<sup>2</sup>Институт металлофизики имени Г. В. Курдюмова

Национальной Академии Наук Украины

– г. Киев, Украина

УДК: 617.735-07:616.379-008.64

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ LED-ТРАНСИЛЛЮМИНАЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННИХ ОБОЛОЧЕК ГЛАЗА У БОЛЬНЫХ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ

Дано описание особенностей неинвазивной методики на основе инновационной технологии LED-трансиллюминации (трансклерального просвечивания), с помощью которой можно проводить медицинское исследование структур глазного дна и сосудов сетчатой оболочки в случае диабетической ретинопатии. Новые методы комплексной диагностики с использованием излучателей в области спектра (580–595 нм) на базе фундус-системы осмотра глаз ФС 11 и методы аутоофтальмоскопии (LED-autoophthalmoscope Pluto) являются перспективными для целей контроля (самоконтроля) и динамического наблюдения за состоянием сетчатки при диабетической ретинопатии.

**Ключевые слова:** медицинское оборудование, диагностика.

Диабетическая ретинопатия (ДР) является одной из главных причин слабосвидения и слепоты среди населения развитых стран. Диабетическая ретинопатия проявляется в патологических изменениях сетчатки и ее сосудов, возникающих как результат общего поражения сосудов при диабете. Поражение сетчатки может проявиться в виде кровоизлияний в сетчатку (геморагий). Возрастающая распространенность диабетических поражений сетчатки (диабетической ретинопатии) обуславливает актуальность более раннего выявления данной патологии и поиска новых методов диагностики, контроля и профилактики. Для этой цели в клинической офтальмоскопической практике на сегодняшний день используется широкий спектр стационарных и ручных фундус-систем, позволяющих проводить исследование сетчатки и глазного дна в свете различного спектрального состава видимого диапазона. Новые фундус-системы осмотра глаз ФС11 и ИРИС (Украина) позволяют проводить офтальмоскопическое исследование в отраженном излучении видимого и инфракрасного диапазона вплоть до 1200 нм с применением методов непрямого светодиодного LED-освещения (LED – light emitting diode) глазного дна через склеру и кожные покровы, прилегающие к склере (LED-трансиллюминации) [1–5].

**Целью работы** было совершенствование безопасной технологии для диагностики, профилактического контроля и динамического наблюдения сетчатки глаза у больных сахарным диабетом, в т.ч. без расширения зрачка, а также при выраженном помутнении хрусталика.

**Материал и методы.** В работе использованы инновационные методы и устройства (фундус-система осмотра глаза ФС11/ LED-аутоофтальмоскоп Pluto) для контроля состояния сетчатки. Проведены исследования группы 35 добровольцев (70 глаз без видимых патологий глазного дна) с использованием методики аутоофтальмоскопии с прибором осмотра глаз ФС 11 (LED-autoophthalmoscope Pluto) и 79 больных (158 глаз с различными патологиями), в т.ч. 42 пациента (84 глаза) с сахарным диабетом 2-го типа. LED-технология трансклерального просвечивания (трансиллюминация) с использованием светоизлучающих диодов (LED-light emitting diode) и получения изображения глазного дна схематически приведена на рис. 1. Излучение трансиллюминатора 1 (видимого и ближнего инфракрасного диапазона длин волн) направляется на край нижнего или верхнего века с темпоральной стороны и диффузно освещает глазное дно через ткани и среды, которые прилегают к склере. Однородное освещение сетчатки глаза происходит как за счет эффектов многократного рассеяния и отражения внутренними биотканями (ретробульбарной клетчаткой, склерой и др.), так и за счет бокового освещения электромагнитным излучением, прошедшим через склеру и стекловидное тело. Действительное изображение, полученное на матрице приемника, отображается на мониторе в режиме реального времени [1–5]. В данный момент используются два названия данной методики: офтальмоскопия при трансклеральном просвечивании (трансиллюминации) [5] и длинноволновая фундускопия (ДВФГ) [3]. Фотографии глаз-

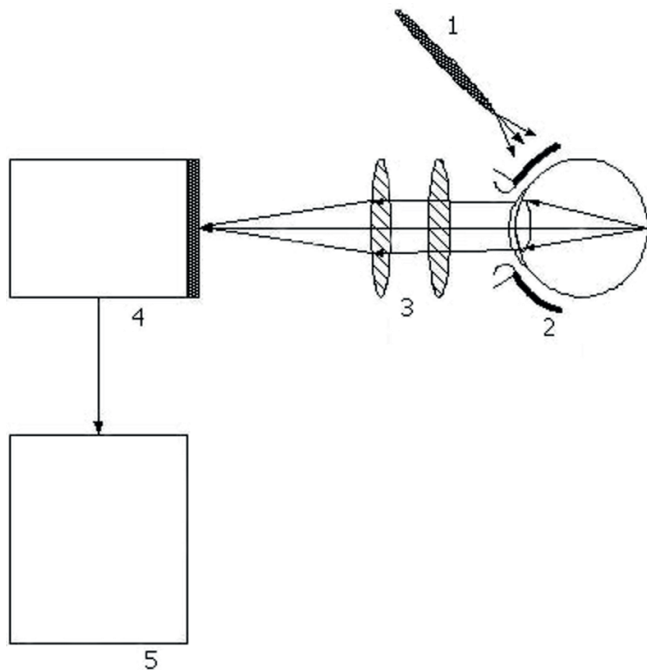


Рис. 1. Схема методики и устройства для наблюдения глазного дна: источник излучения – 1, оптическая система – 3, приемник – 4, монитор (ноутбук) – 5. Излучение источника направляется на край нижнего или верхнего века с темпоральной стороны и освещает глазное дно через кожные покровы, прилегающие к склере, а отраженный и рассеянный свет оболочек глазного дна – 2 фокусируется оптической системой 3 на матрице приемника и отображается в режиме реального времени на мониторе (ноутбуке) [5]

ного дна были получены на фундус-системах осмотра глаз ФС11 / ИРИС (Украина).

**Результаты и их обсуждение.** При трансклеральном освещении нет прямого попадания излучения на роговицу и зрачок, а облучаются кожные покровы. На рис. 2–3 приведены графики максимально

допустимых уровней облучения кожных покровов для светодиодных (LED) излучателей (МДР) согласно международного стандарта безопасности IEC 60825, которые используются в фундус-системах ФС11 и ИРИС для проведения безопасной диагностики.

Технология трансиллюминации (трансклерального просвечивания) и визуализации внутренних оболочек глаза базируется на оптических и спектральных характеристиках оптических сред и биологических тканей глаза. Проведенные ранее расчеты [2–8] показали, что пропускания склеры в инфракрасной области спектра существенно больше, чем в видимом диапазоне, и может превышать 10%, что вполне достаточно для проведения LED-трансиллюминации и получения качественного изображения глазного дна при освещении не через зрачок. Метод использования непрямого освещения позволяет избежать рефлексии от роговицы и тем самым расширить угол обзора глазного дна, которое в используемых модификациях приборов ФС11 и ИРИС может достигать 80° без необходимости расширения зрачка. Анализ полученных данных показывает, что источники света, которые используются в фундус-системах ФС11 и ИРИС, соответствуют требованиям относительно максимально допустимых уровней облучения кожных покровов для светодиодных излучателей (МДР) согласно международного стандарта IEC 60825 для длин волн 555–630 нм и 880 нм, что согласуется с ранее полученными результатами [9]. Следует подчеркнуть, что главными особенностями используемого метода являются: возможность проведения диагностики с широким полем обзора без расширения зрачка и возможность получения различных спектральных изображений структур глазного дна при селективном изменении длины волны источника излучения. В серии работ [2–8] было установлено, что данный метод на основе инновационной

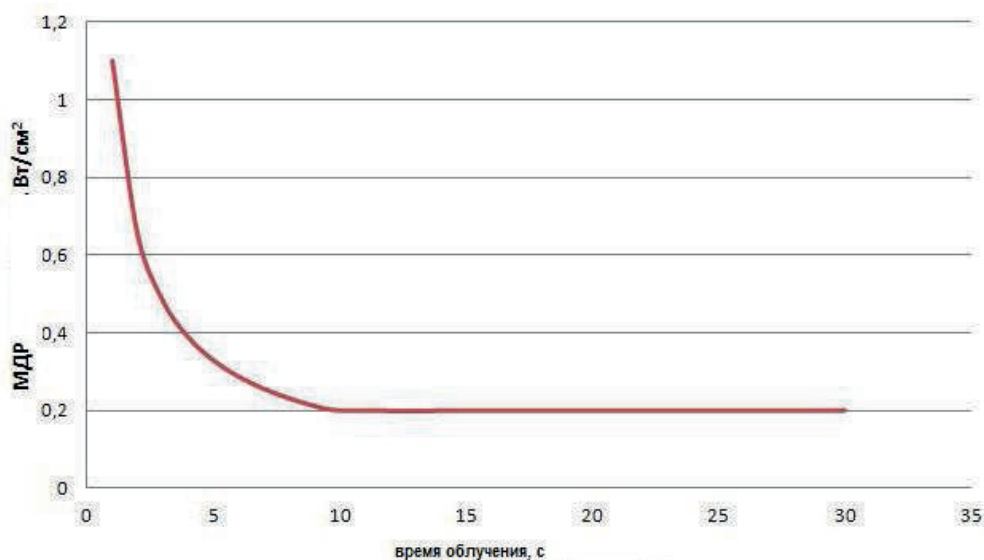


Рис. 2. Зависимость максимально допустимых уровней облучения (МДР) для светодиодных излучателей ( $\lambda=555\text{--}630$  нм) от времени действия излучения на кожные покровы человека

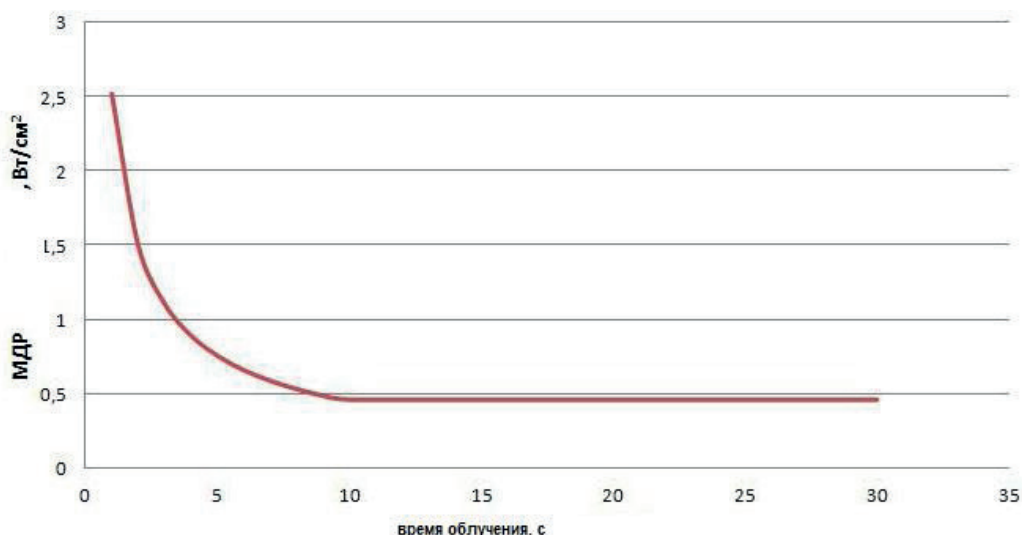


Рис. 3. Зависимость максимально допустимых уровней облучения (МДР) для светодиодных излучателей ( $\lambda=880$  нм) от времени действия излучения на кожные покровы человека

технологии LED-трансиллюминации (трансклерального просвечивания) дает возможность выявлять ранние изменения в слое пигментного эпителия сетчатки и мембраны Бруха, которые не определяются при помощи других методов, может быть использован в ранней диагностике аномалий пигментации глазного дна, пигментных образований (невусов) и опухолей (<http://vision-2013.wix.com/retina>). Метод позволяет выявить проявления диабетической ретинопатии и провести динамическое наблюдение патологических изменений на глазном дне в процессе лечения без дополнительного введения контрастного вещества и без применения медикаментозного мидриаза в длинноволновой области спектра (рис. 4–5).

Новым перспективным направлением совершенствования технологии трансиллюминации для целей диагностики, профилактического контроля и динамического наблюдения за больными сахарным диабетом является использование излучателей в желтой области спектра 580–595 нм (в области полос поглощения крови). Проведенные исследования на базе фундус-системы ФС 11 (35 человек без видимых патологий – норма) показали: в данном диапазоне более четко визуализируются сетчатка глаза и сосуды сетчатки, что обусловлено более высоким коэффициентом поглощения крови и более сильным эффектом контрастирования сосудов (рис. 7–9). Анализ показывает, что данная особенность, обусловленная спектральными свойствами хромофоров крови и сетчатки, может быть использована (в тех случаях, когда интенсивность непрямого освещения глазного дна при просвечивании кожи и склеры достаточна для получения изображения) с целью совершенствования технологии трансиллюминации при контроле и динамическом наблюдении за больными сахарным диабетом. Данное направление представляется перспектив-

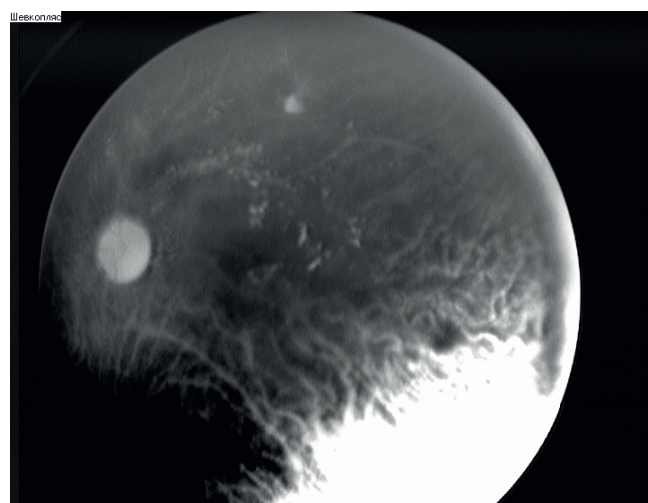


Рис. 4. Фото глазного дна, полученное без расширения зрачка при трансиллюминации 630–730 нм (диабетическая ретинопатия)

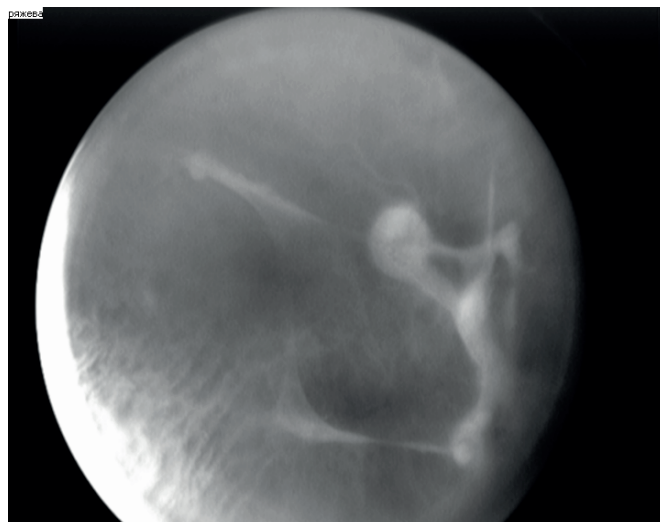


Рис. 5. Фото глазного дна, полученное без расширения зрачка при трансиллюминации 630–730 нм (диабетическая ретинопатия, пролиферативная форма)

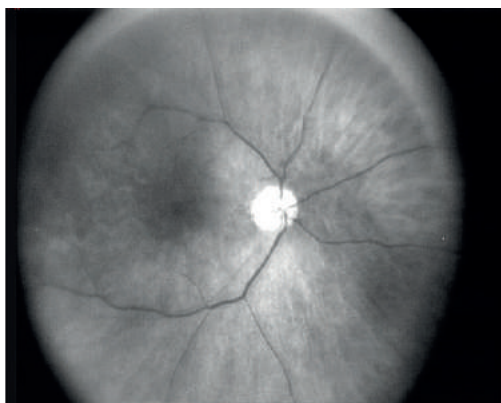


Рис. 6. Фото глазного дна, полученное без расширения зрачка при трансиллюминации 580–595 нм (норма)

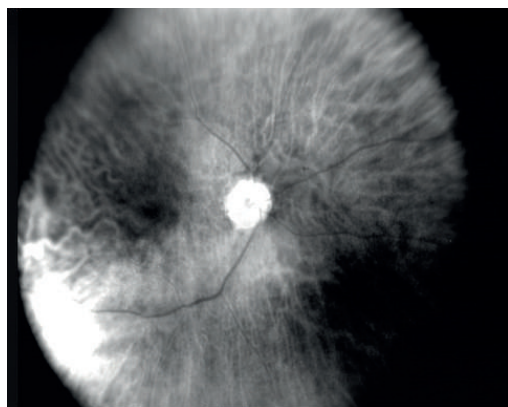


Рис. 7. Фото глазного дна, полученное без расширения зрачка при трансиллюминации 630–730 нм (норма)

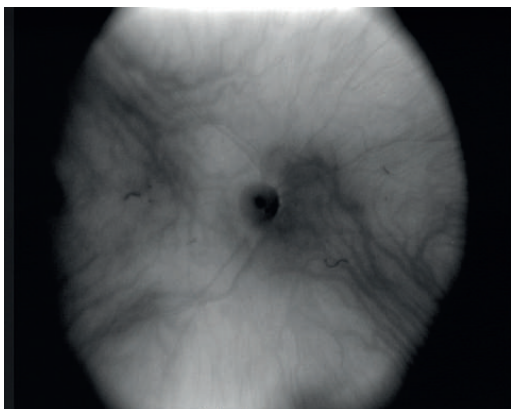


Рис. 8. Фото глазного дна, полученное без расширения зрачка при трансиллюминации 880–940 нм (норма)

ным и будет предметом нашей дальнейшей работы. Следует также отметить, что при переходе от красной спектральной области к инфракрасной наблюдается характерный эффект изменения оттенка диска зрительного нерва со светлого на темный (рис. 7–9).

Следующим перспективным для диагностики и контроля состояния сетчатки при диабетической ретинопатии представляется метод обследования (в т.ч. самостоятельного) кровеносных сосудов центральной области сетчатки и макулярной области с применением метода LED-аутоофтальмоскопии (фун-

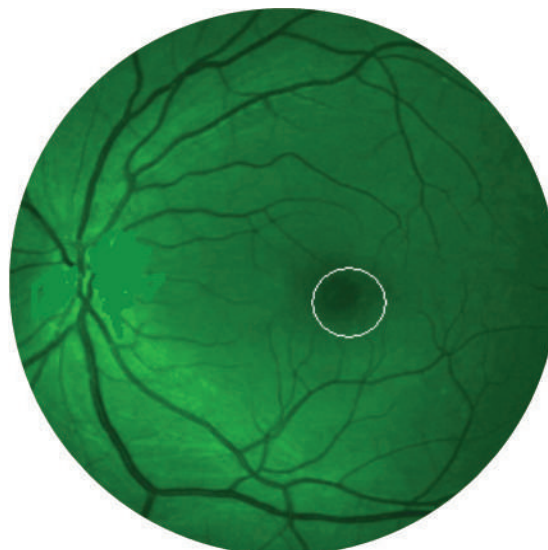


Рис. 9. Типичная картина, которую можно увидеть самостоятельно при аутофундускопии (LED-autoophthalmoscope Pluto) левого глаза – норма. Макулярная область (область на рисунке выделена белой линией) при аутоофтальмоскопии воспринимается как овальная бессосудистая зона с мелкоточечной зернистостью в желтом и зеленом диапазонах и имеет более темный оттенок в синем диапазоне

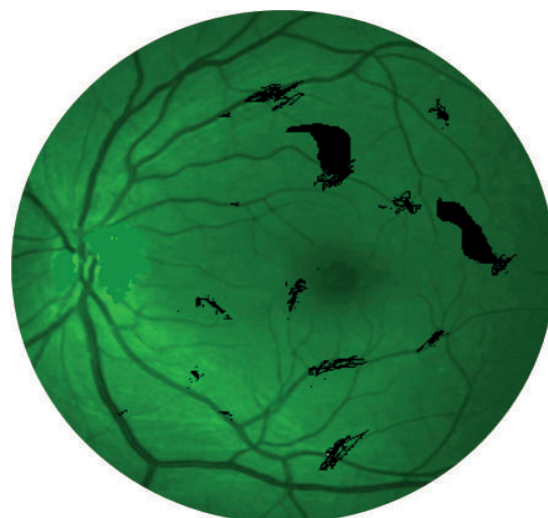


Рис. 10. Пример картины, которую можно увидеть самостоятельно при аутофундускопии (LED-autoophthalmoscope Pluto) левого глаза – патология (кровоизлияния)

дус-система ФС 11). Визуализация сети кровеносных сосудов центральной области сетчатки (30–40°) основана на энтооптическом эффекте, оптических свойствах оболочек глаза как природных биологических наносистем и селективном использовании длины волны источника излучения (<http://vision-2013.wix.com/retina>). Условие, при котором можно визуализировать сеть капилляров сетчатки (феномен Пуркинье), связано с особенностями строения сетчатки человеческого глаза, которая имеет многослойную структуру. Для проведения аутоофтальмоскопии рекомендует-

ся приставить LED-трансиллюминатор (фонарик) к верхнему веку глаза. После появления однородного освещенного фона глаза колебательными движениями начать смещать LED-трансиллюминатор влево и вправо на 0,5–1 см до визуализации картины сети кровеносных сосудов сетчатки – «сосудистого дерева». Частота и амплитуда смещений подбирается индивидуально для лучшего восприятия сосудов и особенностей сетчатки. Макулярная область воспринимается как овальная зона с мелкоочечной зернистостью в желтом и зеленом диапазонах и имеет более темный оттенок в синем диапазоне. Очень важно определить ее положение. Для этого необходимо увеличить частоту колебаний (для желтого и зеленого излучателей). Технология LED-фундускопии либо аутоофтальмоскопии позволяет оценить сохранность функционального состояния центральных отделов сетчатки (макулярной области) даже при непрозрачных оптических средах глаза (при катаракте, помутнении роговицы, частичном нарушении прозрачности стекловидного тела). Визуализация кровеносных сосудов сетчатки глаза происходит в динамическом режиме наблюдения при колебательных движениях. Появление темных пятен перед глазами может свидетельствовать о кровоизлиянии в сетчатую оболочку в ее центральной зоне. При использовании технологии LED-фундускопии такие области кровоизлияния на сетчатой оболочке глаза могут визуализироваться в виде единичных или многочисленных темных точек, а при сильных кровоизлияниях – в виде темных зон и областей различного размера. В результате проведенных сравнительных исследований группы 35 добровольцев (70 глаз без видимых патологий глазного дна) с использованием методики аутоофтальмоскопии с прибором осмотра глаз ФС 11 (LED-autoophthalmoscope Pluto) и традиционного метода с применением ламп накаливания было установлено, что во всех случаях при использовании разрабатываемой методики наблюдалась более качественная визуализация центральной области сетчатки (большее количество кровеносных сосудов), что хорошо согласуется с ранее полученными результатами [10]. Данный факт связан с тем, что максимум излучения ламп накаливания находится в ближней инфракрасной области и не попадает в области максимального поглощения гемоглобина. Поэтому при использовании светодиодных излучателей с максимумами излучения в желто-зеленой и синей областях (области поглощения крови) контрастность сосудов увеличивается. Частичное отсутствие аутоофтальмоскопической картины сети сосудов сетчатки может указывать на отслойку сетчатки, вызванную различными патологиями – травмы глаза, диабетическая ретинопатия и др.

Диабетическая ретинопатия может длительное время протекать незаметно, при этом угроза ухудшения и полной утраты зрения неуклонно растет. Мелкие кровоизлияния (если они не затрагивают макулярную область сетчатки) могут не оказывать влияния на зрение, и больной не испытывает никаких неудобств. В этом случае самоконтроль сетчатки с использованием методики аутоофтальмоскопии на базе прибора для осмотра глаз ФС 11 (LED-autoophthalmoscope Pluto) может помочь выявить изменения на сетчатой оболочке и вовремя обратиться к офтальмологу. Дальнейшая работа по совершенствованию методики и прибора для аутоофтальмоскопии представляется перспективной, поскольку регулярный самоконтроль изменения картины сетчатки может помочь больным сахарным диабетом выявить изменения на сетчатке (появление темных точек, пятен) и предотвратить возможные последствия ухудшения зрения при своевременном обращении к офтальмологу.

### Выводы

Новые методы комплексной диагностики с использованием излучателей в области спектра (580–595 нм) на базе фундус-системы осмотра глаз ФС 11 и методы аутоофтальмоскопии (LED-autoophthalmoscope Pluto) является перспективным для целей контроля (самоконтроля) и динамического наблюдения за состоянием сетчатки при диабетической ретинопатии.

### Литература

1. *Плюто И. В.* Прибор для офтальмоскопии в инфракрасном свете / И. В. Плюто. – Киев: ин-т металлофизики НАН Украины, 1997. – 5 с. (Препринт / НАН Украины, ин-т металлофизики; 1997–9).
2. *Плюто И. В.* Инфракрасная трансклеральная офтальмоскопия: физические и технологические аспекты метода / И. В. Плюто, А. П. Шпак. – Киев: ИМФ НАНУ, 2005. – 44 с.
3. *Пасечникова Н. В.* Новые возможности цифровой фото- и видеосъемки глазного дна в инфракрасном спектре / Н. В. Пасечникова, В. А. Науменко, А. Р. Король, [и др.] // Офтальмологический журнал. – 2006. – № 3 (II). – С. 85–90.
4. Diagnostic possibility of registration of the eye fundus image with transscleral transmission in the case of diabetic retinopathy/ I. Plyuto, N. Pasyechnikova, N. Tyazhkaya [et all.] //7th Euretina Congress: Book of Abstracts. – Monte Carlo, 2007. – P. 91.
5. *Плюто И. В.* Атлас по спектральной диагностике внутренних оболочек глаза с использованием технологии трансиллюминации / И. В. Плюто. – К: ВВП, 2008. – 57 с.
6. *Запорожець А. О.* Енергетичні параметри безпеки при транслімінації біологічних наносистем ока / А. О. Запорожець, І. В. Плюто, О. Г. Замурняк [и др.]

- др.] // Наукоємні технології. – 2011. – № 3–4. – С. 105–109.
7. *Плюто І. В.* Использование технологии ИК-трансиллюминации бионаносистем для получения изображения глазного дна на базе прибора реального времени ИРИС / И. В. Плюто, А. П. Шпак, А. О. Запорожец [и др.] // Наноматериалы и нанокомпозиты в медицине, биологии, экологии. – Киев: Наукова думка, 2011. – С. 422–427.
  8. *Плюто І. В.* Вдосконалення технології транссклерального просвічування для аналізу зображення очного дна / І. В. Плюто, А. П. Шпак, А. О. Запорожець [та ін.] // Наукоємні технології. – 2010. – № 3–4. – С. 86–90.
  9. *Плюто І. В.* Аналіз енергетичних аспектів безпечного використання випромінювачів у фундус-системах огляду ока ФС 11 та ІРИС / І. В. Плюто, Ю. І. Комісаренко, О. В. Антоненко // Науковий вісник Національного медичного університету ім. О. О. Богомольця. – 2013. – № 3. – С. 192–196.
  10. *Комиссаренко Ю. І.* Использование новых технологий в изучении состояния внутренних оболочек глаза у больных сахарным диабетом / Ю. И. Комиссаренко, И. В. Плюто, Е. В. Антоненко // Науковий вісник Національного медичного університету ім. О. О. Богомольця. – 2013. – № 1 (40). – С. 77–81.

### ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LED-ТРАНСІЛЮМІНАЦІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВНУТРІШНІХ ОБОЛОНОК ОКА У ХВОРИХ НА ЦУКРОВИЙ ДІАБЕТ

*О. П. Вітовська, І. В. Плюто, С. А. Таха*

Наведено опис особливостей неінвазивної методики на основі інноваційної технології LED-трансиллюмінації (транссклерального просвічування), за допомогою якої можна проводити медичне дослідження структур очного дна та судин сітківки ока у випадку діабетичної ретинопатії. Нові методи комплексної діагностики з використанням випромінювачів в області спектра (580–595 нм) на базі фундус-системи огляду очей ФС 11 і методи аутоофтальмоскопії (LED-autoophthalmoscope Pluto) є перспективним для цілей контролю (самоконтролю) і динамічного спостереження за станом сітківки при діабетичній ретинопатії.

**Ключові слова:** медичне обладнання, діагностика.

### PROSPECTS OF USING OF THE TECHNOLOGY OF LED-TRANSILLUMINATION FOR CONTROL OF INTERNAL MEMBRANS OF THE EYE FOR PATIENTS WITH DIABETS

*O. P. Vitovska<sup>1</sup>, I. V. Plyuto<sup>2</sup>, S. A. Taha<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>National Medical University named after O.O.Bogomolets of the Ministry of Public Health of Ukrain,

<sup>1</sup>G.V.Kurdumov Insitute for Metal Physics of National Academy of Sciences of Ukraine

*Kyiv, Ukraine*

The main group of risk of vision loss-people with diabetes. Regular preventive test control (self-control) the state of the central area of the retina can prevent vision loss and blindness.

**Theaim** of recent study was to improve the technology for diagnostic, preventive control (self control) and dynamic monitoring of the retina in the case of diabetic retinopathy without pupil dilation.

**Materials and methods.** We used innovative methods and devices (eye fundus inspection system FS11 / autoophthalmoskop PLUTO) to monitor the status of the retina. The system has been clinically tested and recommended for use to control (self-control) in hospitals and at home. A research group of 35 volunteers (70 eyes with no visible abnormalities of the fundus) using the procedure with the device inspection autoophthalmoskopii eyes FS 11 (Led-autoophthalmoscope Pluto) and 79 patients (158 eyes with various pathologies) including 42 patients (84 eyes) with type 2 diabetes.

**Results.** For diagnosis, preventive monitoring of patients with diabetes it is perspective to use the light sources in the yellow spectral range 580–595 nm (the region of the absorption bands of blood). Studies have shown that this range is useful for more clearly visualize the retina and retinal vessels, due to the higher coefficient of absorption of blood. The method of the self control of blood vessels in the central area of the retina and macular area with the use of LED-autoophthalmoscopy is also perspective for the diagnosis and monitoring of the retina The appearance of dark spots (scotoma) may indicate hemorrhage in the central part of the retina.

**Conclusion.** The developed methods of complex diagnosis using the light sources in the spectral range (580–595nm) based on examination of the fundus system FS 11 and the methods of autoophthalmoscopy (LED-autoophthalmoscope Pluto) are perspective for preventive monitoring (self control) of the state of the retina in the case of diabetic retinopathy.

**Key words:** medical equipment, diagnostics.

Стаття надійшла до редакції 12.10.2015 р.