

УДК 617.735/.736:616.379-008.64-073.585

## Усовершенствованный способ фотографирования глазного дна для скрининга диабетической ретинопатии и макулопатии с использованием iPhone

С. А. Рыков, д-р мед. наук, проф., О. Г. Пархоменко, Е. Г. Пархоменко, канд. мед. наук

Национальная медицинская академия последипломного образования им. П. Л. Шупика; Национальный медицинский университет им. А. А. Богомольца, Киев (Украина)

E-mail: Oleg@oculist.pro

**Ключевые слова:** диабетическая макулопатия, диабетическая ретинопатия, скрининг, фото глазного дна

**Ключові слова:** діабетична макулопатія, діабетична ретинопатія, скринінг, фото очного дна

**Вступ.** Згідно вказівкам Міжнародної ради з офтальмології, — фотографування очного дна являється рекомендованою процедурою для скринінга діабетичної ретинопатії.

**Метою** роботи було вивчення можливостей удосконаленого способу фотографування очного дна для скринінга діабетичної ретинопатії та макулопатії.

**Матеріал та методи.** Фотографування очного дна було виконано у пацієнтів, що страждають на цукровий діабет, в 7 стандартних зонах за ETDRS за допомогою смартфона та лінзи для непрямой офтальмоскопії 20 Д. Для фіксації лінзи та смартфона використані тримачі для мобільного телефону, які закріплені на планці з вертикальною ручкою, що використовуються для кріплення фото- та відеокамер. За допомогою програми виконано відео зйомку високої роздільної здатності з послідуною екстракцією якісних кадрів із відеоряда.

**Результати.** Представлена техніка фотографування очного дна дозволила отримати знімки високої якості.

**Заключення.** Описана методика дозволяє отримати якісні знімки сітківки високої роздільної здатності для скринінга діабетичної ретино- та макулопатії завдяки використанню простих інструментів, доступних в офтальмологічній практиці.

## Improved method of fundus photography for screening of diabetic retinopathy and maculopathy

S. A. Rykov, O. G. Parkhomenko, E. G. Parkhomenko

National Medical Academy of Postgraduate Education named after P. L. Shupyk; National Medical University named after A. A. Bogomoletz, Kiev (Ukraine)

**Key words:** diabetic maculopathy, diabetic retinopathy, screening, fundus photography

**Introduction.** Fundus photography is the recommended procedure for screening of diabetic retinopathy according to recommendations of International Council of Ophthalmology (ICO).

The **purpose** of our work was to investigate the possibilities of improved method of fundus photography for screening of diabetic retinopathy and maculopathy.

**Material and methods.** Fundus photography was performed in patients with diabetes mellitus in 7 standard zones according to ETDRS with the help of smartphone and lens for indirect ophthalmoscopy 20D. For fixation of the lens and smartphone the mobilephone holders were used, which were screwed to the horizontal bar with vertical handle, used for camera fixation in photography. With the help of application video recording was made with subsequent high quality still images extraction.

**Results.** Presented technique of fundus photography allowed to acquire images of high quality.

**Conclusion.** Described technique allows to obtain high quality images of retina for screening of diabetic retinopathy and maculopathy due to implementation of single instruments readily accessible in ophthalmological practice.

**Введение.** Лечение диабетической ретинопатии (ДР) является одной из приоритетных задач в списке Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) среди офтальмологических заболеваний и остается одной из ведущих причин слепоты в мире [12]. Диабетическая макулопатия является одним из основных факторов резкого снижения зрения при ДР после гемофтальма [1, 3]. Согласно

но рекомендациям Международного совета по офтальмологии, фотографирование глазного дна является одной из рекомендованных процедур для скрининга диабетической ретинопатии [14]. На сегодняшний день предложено множество высоко-

котехнологичных методик исследования глазного дна при сахарном диабете [2]. Постоянно растущая популярность и доступность смартфонов, а также быстрый рост технологий захвата и передачи изображений, приводит к расширению возможностей использования мобильных телефонов в клинической практике офтальмолога. Массовое использование мобильных телефонов обусловлено простотой эксплуатации, портативностью, легкостью передачи информации, что делает их крайне удобными для применения в телемедицине [8]. Фотографирование глазного дна является неотъемлемой частью офтальмологической практики. Получение снимков сетчатки высокого разрешения требует комбинации соответствующей оптики и освещения. Обычно необходима собирающая линза и источник коаксиального освещения [4]. Стоимость доступных на сегодняшний день фундус-камер составляет от десятков до сотен тысяч долларов. Безопасность освещения при съемке с использованием вспышки смартфона iPhone описана в работе D. A. Kim с соавторами [7].

Целью настоящего исследования было изучение возможностей усовершенствованного способа фотографирования глазного дна для скрининга диабетической ретинопатии и макулопатии.

**Материал и методы**

Под нашим наблюдением находились 33 пациента (33 глаза) 15 мужчин и 18 женщин в возрасте от 22 до 75 лет, больных сахарным диабетом. Из них у 10 пациентов был сахарный диабет I типа, у 23 — сахарный диабет II типа. У всех пациентов офтальмоскопически отмечалась картина диабетической ретинопатии и макулопатии. Выраженность диабетической ретинопатии оценивали по классификации Американской академии офтальмологии (2002 г.). На 6 глазах имелась умеренная непролиферативная ретинопатия, на 23 глазах тяжелая непролиферативная ретинопатия, на 4 глазах — пролиферативная стадия ДР. На 17 глазах отмечалась начальная катаракта, которая не препятствовала исследованию глазного дна с помощью прямой и обратной офтальмоскопии. Других помутнений глазных сред не было выявлено. Снимки глазного дна были выполнены с помощью iPhone 4S, iPhone 5 и 5S (Apple Inc., Cupertino, CA, USA) и линзы для обратной офтальмоскопии 14 Д, 20 Д, 28 Д (Ocular Instruments, Bellevue, WA, USA). Техника видеосъемки довольно проста: линза для обратной офтальмоскопии и смартфон фиксировались универсальными держателями для мобильного телефона на горизонтальной планке (брелке) с вертикальной ручкой, используемой для крепления фото- и видеокамер. Держатели мобильного телефона имеют в свободной продаже и обладают широким фиксационным диапазоном (5,5–9 см), что позволяет фиксировать по ширине большинство моделей современных смартфонов. Один из держателей для смартфона используется для фиксации любой из линз (14 Д, 20 Д или 28 Д) соответственно. Расстояние между камерой телефона и линзой выставляется однократно для наиболее четкой визуализации глазного дна. Держатели фиксируются винтами на горизонтальной планке-брелке. Фотокамера смартфона располагается напротив центра линзы для непрямой офтальмоскопии (рис. 1).

Захват видео осуществлялся на камеру смартфона, используя коаксиальное освещение вспышки мобильного телефона (рис. 2). Таким образом, оптическая система работала как непрямой офтальмоскоп [4]. Нами было использовано приложение для мобильного телефона «Camera 7» или «ProCamera» (Daemgen, Germany). Указанные программы дают возможность независимого контроля фокуса, экспозиции и интенсивности освещения во время съемки видео высокого разрешения. Без использования подобных программ, съемка качественного видео была затруднительной. Экспозиция, освещенность и фокусировка настраивались индивидуально в зависимости от прозрачности глазных сред и интересующей области глазного дна на экране. Далее производилось извлечение фотографий из видеоряда одним из следующих методов. Первый метод заключается в использовании бесплатного приложения «Movie to Photo» — MoviPic (Nekomimimi) или «Video to photo» (i-App Creation), которые позволяют изымать необходимые стоп-кадры из видео. Альтернативным методом является остановка видео в необходимом месте и копировании экрана, что достигается путем одновременного нажатия кнопки «Home» и «Power» на верхней или боковой панели смартфона. После того как фото извлечено из видеоряда и экспортировано одним из



Рис. 1. Устройство для фотографирования глазного дна.

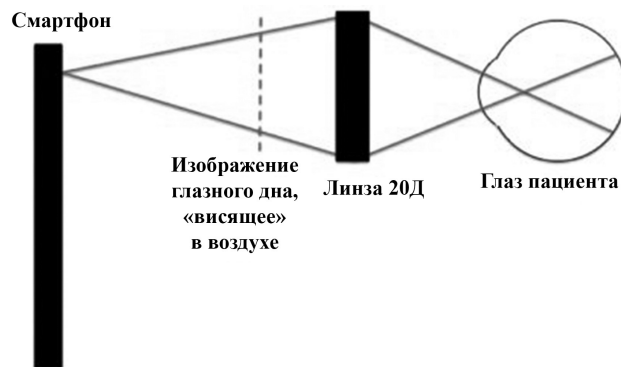
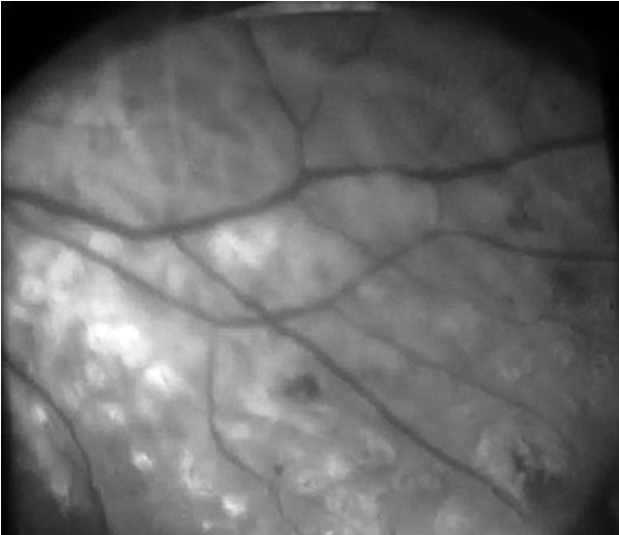


Рис. 2. Схема работы оптической системы для фотографирования глазного дна.



**Рис. 3.** Диабетическая ретинопатия, непролиферативная стадия, тяжелая степень, состояние после панретинальной лазеркоагуляции.

перечисленных методов, возможно проведение обрезки, поворота и улучшения качества изображения собственным редактором смартфона или сторонним приложением. В итоге полученное изображение глазного дна может быть использовано в документации, электронных историях болезни или для телемедицины.

Представленная ретиная камера позволяет захватывать качественные снимки глазного дна, используя готовые изделия и инструменты, доступные в повседневной практике врача-офтальмолога (рис. 3). Фотографирование глазного дна осуществляется в условиях медикаментозного мидриаза пациента. При этом устройство захватывает поле на сетчатке пациента, приблизительно равное  $55^\circ$  (для линзы 20Д). Размер изображения составляет  $3264 \times 2448$  пикселей, что составляет приблизительно 47 пикселей на градус поля зрения сетчатки и превышает минимальное разрешение изображения в 30 пикселей на градус ретинального изображения, указанного в требованиях к скринингу диабетической ретинопатии Национальной службы здоровья Великобритании (UK Nation Health Service) [15]. Согласно нашим расчетам, время, необходимое для съемки 14 фотографий одного пациента (фотографирование каждого глаза в семи стандартных зонах согласно исследованию Early treatment diabetic retinopathy study [6]), составило в среднем  $(7,4 \pm 1,3)$  минуты.

### Результаты и их обсуждение

Нами были выполнены фотографии глазного дна для скрининга диабетической ретинопатии и макулопатии с использованием смартфонов iPhone моделей 4S, 5, 5S с использованием горизонтальной планки (бркета) с вертикальной ручкой, двух держателей для телефона, а также линз 20 Д, 14 Д, 28 Д по разработанной нами технологии. Данный способ обеспечил получение снимков высокого качества благодаря возможностям программного обеспечения независимого контроля фокусировки, а также регулировке интенсивности освещения ра-

бочей области и экспозиции. В ходе исследования оказалось, что для получения качественных снимков понадобилось приложение, обеспечивающее возможность захвата видео. Благодаря использованию режима видеозахвата с последующим извлечением стоп-кадров высокого разрешения это стало возможным даже при непродолжительном времени съемки видеоряда. Источник света смартфона iPhone 4 вместе с линзой 20 Д был апробирован ранее и определен как безопасный для органа зрения человека в публикации Kim [7]. В работе показано, что плотность мощности светового излучения на уровне сетчатки при использовании смартфона составила  $4,6 \text{ мВт/см}^2$ , что в 150 раз ниже уровня термического повреждения —  $706 \text{ мВт/см}^2$ . Плотность же энергии светового излучения на уровне сетчатки составила  $41 \text{ мДж/см}^2$  (при экспозиции 1 минута), что в 240 раз ниже уровня фотохимического повреждения сетчатки  $10 \text{ Дж/см}^2$ , установленного Международной организацией стандартизации (ISO 15004–2.2) International Standard, ISO [11, 13]. Для сравнения, при использовании осветителя в коммерчески доступном непрямом офтальмоскопе Keeler Vantage Plus LED, плотность мощности светового излучения и плотность энергии светового излучения на уровне сетчатки в 15 и 24 раза ниже уровня термического и фотохимического повреждения сетчатки соответственно.

На сегодняшний день смартфоны нередко используются для документации глазной патологии [5, 9]. Описанные ранее методики фотофиксации глазного дна [4, 9] довольно сложно воспроизводимы из-за невозможности программного обеспечения iPhone независимо контролировать фокус и экспозицию во время съемки видео, что приводило к засветам и низкому качеству снимков. Необходимость ручного сопоставления камеры и линзы ухудшала стабильность системы и затрудняла фокусировку. Разработанная методика обеспечивала более простую и воспроизводимую процедуру получения качественных снимков. Данная методика оказалась особо полезной при консультации амбулаторных, стационарных нетранспортабельных больных, пациентов с сахарным диабетом в условиях отсутствия дорогостоящего оборудования на поликлиническом приеме для документации и скрининга. Процедура съемки глазного дна легко переносилась пациентами, так как интенсивность освещения вспышки смартфона была значительно ниже интенсивности осветителя непрямого офтальмоскопа.

Ранее описана методика фотографирования глазного дна у мышей с использованием ретинальной камеры Kowa RC-2 (Kowa Optimed Inc., Torrance, CA, USA) и линз 90 Д, 78 Д и 60 Д (Volk Optical Inc., Mentor, OH, USA) вместо смартфона, а также, используемой нами линзы 20 Д [10]. Мы предполагаем, что методика, разработанная нами,

может подойти и для фотофиксации глазного дна у лабораторных животных.

**Заключение.** Таким образом, разработанная нами методика фотографирования глазного дна позволила получить высококачественные снимки сетчатки и может быть альтернативой применению дорогостоящего оборудования, такого как фундус-камера. Методика легка в освоении и относительно недорога, портативна, может исполь-

зоваться для скрининга диабетической макуло- и ретинопатии, а также применяться у нетранспортельных лежачих больных, расширяя возможности использования смартфонов в телемедицине. Мы ожидаем повышения качества снимков при использовании данной техники с появлением новых усовершенствованных смартфонов с большим размером матрицы фотокамеры и стабилизацией изображения.

### Литература

1. **Науменко В. А.** Эффективность нового метода диагностики и лазерного лечения отечных форм диабетической макулопатии : дис. ... канд. мед. наук : 14.00.08 / Науменко Владимир Александрович. — Киев. — 2004. — 128 с.
2. **Пасечникова Н. В.** Диабетическая макулопатия. Современные аспекты патогенеза, клиники, диагностики, лечения : Монография / Н. В. Пасечникова, С. А. Сук, Т. А. Кузнецова, О. Г. Пархоменко. — Киев. — Издательство, ООО «Карбон ЛТД». — 2010. — С.43–64.
3. **Салдан И. Р.** Патогенетические особенности начальных стадий простой и пролиферирующей диабетической ретинопатии и дифференцированный подход к их лечению: Автореф. дис. д-ра мед. наук : 14.00.08 / Салдан Иосиф Романович. — Одесский НИИ глазных болезней и тканевой терапии им. акад. В. П. Филатова. — Одесса, 1989. — С. 35.
4. **Bastawrous A.** Smartphone funduscopy / A. Bastawrous // *Ophthalmology*. — 2012. — Vol. 119. — No. 2. — P. 432–433.
5. **Chhablani J.** Smartphones in ophthalmology / J. Chhablani, S. Kaja, V. Shah // *Indian Journal of Ophthalmology*. — 2012. — Vol. 60. — No. 2. — P. 127–131.
6. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group. Treatment techniques and clinical guidelines for photocoagulation of diabetic macular edema Early treatment diabetic retinopathy study report number 2 // *Ophthalmology*. — 1987. — № 94. — P.761–774.
7. **Kim D. Y.** Smartphone photography safety / D. Y. Kim, F. Delori, S. Mukai // *Ophthalmology*. — 2012. — Vol. 119. — № 10. — P. 2200–2201.
8. **Lamirel C.** Nonmydriatic digital ocular fundus photography on the iPhone 3G: the FOTO-ED study / Lamirel C., Bruce B. B., Wright D. W. [et al.] // *Archives of Ophthalmology*. — 2012. — Vol. 130. — № 7. — P. 939–940.
9. **Lord R. K.** / Novel uses of smartphones in ophthalmology / R. K. Lord, V. A. Shah, A. N. San-Filippo, R. Krishna // *Ophthalmology*. — 2010. — Vol. 117. — № 6. — P. 1274–1274.
10. MacPherson D. Murine bilateral retinoblastoma exhibiting rapid-onset, metastatic progression and N-myc gene amplification / D. MacPherson, K. Conkrite, M. Tam, S. [et al.] // *The EMBO Journal*. — 2007. — Vol. 26. — No. 3. — P. 784–794.
11. *Ophthalmic Instruments, Light Hazard Protection, International Standards Organization (ISO) : ISO, 15004–2.2 2007.* — [Reviewed and valid from 2010–10–11]. — Geneva, Switzerland. — 37 p. — (International Standard).
12. Prevention of blindness from diabetes mellitus / Report of a WHO consultation in Geneva. — Switzerland, 9–11 November 2005. — 39 p. — ISBN 978.92.4.154712.3.
13. **Sliney D. H.** What is the meaning of threshold in laser injury experiments? Implications for human exposure limits / D. H. Sliney, J. Mellerio, V. Gabel, K. Schulmeister // *Health Physics*. — 2002. — Vol. 82. No. 3. — P. 335–347.
14. The International Council of Ophthalmology Guidelines for Diabetic Eye Care [Electronic Resource]. — Mode of access : URL : <http://www.icoph.org/downloads/ICOGuidelinesforDiabeticEyeCare.pdf>. — Title from the screen.
15. **Tran K.** Construction of an inexpensive, hand-held fundus camera through modification of a consumer «point-and-shoot» camera / K. Tran, T. A. Mendel, K. L. Holbrook [et al.] // *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. — 2012. — Vol. 53. — P. 7600–7607.

Поступила 27.10.2014

### References

1. **Naumenko VA.** The effectiveness of a new method of diagnosis and laser treatment of edematous diabetic maculopathy: thesis for Candidate of Med. Science. 14.00.08. Kiev. 2004. 128 p.
2. **Pasychnikova NV, Suk SA, Kuznetsova TA, Parkhomenko OG.** Diabetic maculopathy. Modern aspects of pathogenesis, clinical manifestations, diagnosis, treatment. Kiev: Karbon LTD; 2010. 43–64.
3. **Saldan IR.** Pathogenetic features of the initial stages of a simple and proliferative diabetic retinopathy and differentiated approach to their treatment: Author's thesis for Doctor Med. Science: 14.00.08. Odessa Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy n/a acad. V. P. Filatov. Odessa. 1989. 35 p.
4. **Bastawrous A.** Smartphone funduscopy. *Ophthalmology*. 2012;119(2):432–3.
5. **Chhablani J, Kaja S, Shah V.** Smartphones in ophthalmology. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2012;60(2):127–31.
6. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group. Treatment techniques and clinical guidelines for photocoagulation of diabetic macular edema Early treatment diabetic retinopathy study report number 2. *Ophthalmology*. 1987;94:761–74.

7. **Kim DY, Delori F, Mukai S.** Smartphone photography safety. *Ophthalmology*. 2012;119(10):2200–1.
8. **Lamirel C, Bruce BB, Wright DW** et al. Nonmydriatic digital ocular fundus photography on the iPhone 3G: the FOTO–ED study. *Archives of Ophthalmology*. 2012;130(7):939–40.
9. **Lord RK, Shah VA, San–Filippo AN, Krishna R.** Novel uses of smartphones in ophthalmology. *Ophthalmology*. 2010;117(6):1274.
10. **MacPherson D, Conkrite K, Tam M** et al. Murine bilateral retinoblastoma exhibiting rapid-onset, metastatic progression and N–myc gene amplification. *The EMBO Journal*. 2007;26(3):784–94.
11. Ophthalmic Instruments, Light Hazard Protection, International Standards Organization (ISO): ISO, 15004–2.2 2007. Reviewed and valid from 2010–10–11. Geneva, Switzerland. 37 p.
12. Prevention of blindness from diabetes mellitus. Report of a WHO consultation in Geneva. Switzerland, 9–11 November 2005. 39 p. ISBN 978.92.4.154712.3.
13. **Sliney DH, Mellerio J, Gabel VK.** Schulmeister. What is the meaning of threshold in laser injury experiments? Implications for human exposure limits. *Health Physics*. 2002;82(3):335–47.
14. The International Council of Ophthalmology Guidelines for Diabetic Eye Care [Electronic Resource]. Mode of access: Available at: <http://www.icoph.org/downloads/ICOGuidelinesforDiabeticEyeCare.pdf>. — Title from the screen.
15. **Tran K, Mendel TA, Holbrook KL** et al. Construction of an inexpensive, hand–held fundus camera through modification of a consumer «point–and–shoot» camera. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. 2012;53:7600–7.

*Received 27.10.2014*