

# Вопросы клинической офтальмологии

УДК 617.735-002-02:616.379-008.64:616-073.65

## Температура и плотность теплового потока наружной поверхности глаз больных диабетической ретинопатией (пилотное исследование)

**Л. И. Анатычук** <sup>1, 2</sup>, д-р физ.-мат. наук, профессор, академик НАН Украины;

**Н. В. Пасечникова** <sup>3</sup>, д-р мед. наук, профессор, член-кор. НАМН Украины;

**В. А. Науменко** <sup>3</sup>, д-р мед. наук, профессор; **О. С. Задорожный** <sup>3</sup>, канд. мед. наук;

**Н. И. Храменко** <sup>3</sup>, канд. мед. наук; **Р. Э. Назаретян** <sup>3</sup>; **Р. Р. Кобылянский** <sup>1, 2</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup> Институт термоэлектричества  
НАН и МОН Украины;  
Черновцы (Украина)

<sup>2</sup> Черновицкий национальный  
университет им. Ю.  
Федьковича;  
Черновцы (Украина)

<sup>3</sup> ГУ «Институт глазных  
болезней и тканевой терапии  
им. В.П.Филатова НАМН  
Украины»;  
Одесса (Украина)

E-mail: zadoroleg2@gmail.com

**Ключевые слова:**

температура наружной поверхности  
глаза, плотность теплового потока,  
реофтальмография, диабетическая  
ретинопатия

**Актуальность.** В настоящее время большое внимание уделяется изучению тепловых процессов, непрерывно происходящих в организме человека и обеспечивающих нормальную его жизнедеятельность в различных условиях. В литературе имеются сообщения об особенностях суточных колебаний температуры тела [1, 2], о влиянии физической активности на изменение температуры тела [3], о динамике температуры тела в процессе проведения хирургических вмешательств [4]. В офтальмологии известно о взаимосвязи температуры наружной поверхности глаза с состоянием кровообращения, внутриглазным давлением, наличием воспалительного процесса или внутриглазных опухолей [4-9]. Особенности тепловых процессов в организме больных сахарным диабетом, в том числе органа зрения, в настоящее время остаются недостаточно изученными [10].

*Показатели теплообмена, как известно, характеризуются не только значениями температуры и их распределением, но и тепловым потоком (ТП).*

**Цель.** Изучить показатели температуры и плотности теплового потока поверхности глаз пациентов с диабетической ретинопатией.

**Материал и методы.** Под наблюдением находились 62 пациента (123 глаза) с диабетической ретинопатией (ДР). Диагноз непролиферативной стадии ДР был установлен у 28 больных (55 глаз), а пролиферативной стадии – у 34 больных (68 глаз). Всем больным были выполнены общеклинические исследования, а также термометрия наружной поверхности роговицы и измерение плотности ТП глаза. У всех больных с непролиферативной стадией ДР выполнялась реоофтальмография (РОГ).

**Результаты.** Плотность ТП глаз с непролиферативной стадией ДР оказалась выше ( $7,3 \pm 2,1 \text{ мВт/см}^2$ ) в сравнении с пролиферативной стадией –  $6,3 \pm 1,6 \text{ мВт/см}^2$  ( $p=0,002$ ). При этом температура поверхности глаз у пациентов с различными стадиями ДР значимо не отличалась ( $p=0,8$ ). Была отмечена положительная корреляционная связь между плотностью ТП и показателями коэффициента кровенаполнения глаз пациентов с непролиферативной стадией ДР по данным РОГ. Была обнаружена зависимость плотности ТП глаз у пациентов с ДР от возраста.

**Выводы.** Предварительные результаты свидетельствуют о том, что показатели плотности ТП глаза (по сравнению с температурой роговицы) более полно отражают состояние теплообмена глаза, и демонстрируют перспективу использования данного метода в качестве нового диагностического теста.

В то же время показатели теплообмена, как известно, характеризуются не только значениями температуры и их распределением, но и тепловым потоком (ТП), который более полно отражает функциональное состояние органов и тканей [11]. В наших предыдущих исследованиях были представлены первые результаты измерений плотности теплового потока глаз здоровых лиц с помощью разработанного термоэлектрического устройства [12]. Были отмечены различия показателей теплового потока здоровых глаз в зависимости от возраста человека. Нами была высказана гипотеза о том, что возрастные атрофические изменения сосудистой оболочки и связанное с этим процессом снижение кро-

венаполнения сосудистого тракта глаза могут являться одной из причин снижения показателей плотности теплового потока глаз здорового человека с возрастом.

**Цель.** Изучить показатели температуры и плотности теплового потока поверхности глаз пациентов с диабетической ретинопатией.

### Материал и методы

Работа представляет собой открытое пилотное исследование. Проведение исследования было одобрено биоэтическим комитетом ГУ «Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В.П.Филатова НАМН Украины». Все исследуемые подписывали информированное согласие.

Под наблюдением находились 62 пациента (123 глаза) с диабетической ретинопатией (ДР). Возраст исследуемых лиц составил от 16 до 86 лет. Диагноз непролиферативной стадии ДР был установлен у 28 больных (55 глаз), а пролиферативной стадии – у 34 больных (68 глаз). У всех больных стадия диабетической ретинопатии не отличалась на парных глазах. В исследование не включались пациенты с неоваскулярной глаукомой, а также больные, которым проводилась интравитреальная антиангидиогенная терапия или витрэктомия.

Всем больным были выполнены общеклинические исследования, а также термометрия наружной поверхности роговицы и измерение плотности ТП глаза.

Для измерения плотности ТП и температуры наружной поверхности глаза применялось термоэлектрическое устройство, которое было разработано Институтом термоэлектричества НАН и МОН Украины в рамках договора о сотрудничестве с ГУ "Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В. П. Филатова НАМН Украины" [12]. Исследование проводилось в помещении со стабильными показателями окружающей среды и в определенное время суток (в промежутке между 15 и 16 часами). Контролировалась температура воздуха в помещении, которая в ходе исследования составила  $23,0 \pm 1,9$  °С. Поддерживались условия с минимальной скоростью движения воздуха. Перед проведением исследования пациенты адаптировались к температуре помещения 15 минут. Исследование проводилось без медикаментозного расширения зрачка. Применялась эпибульбарная анестезия в виде однократной инстилляции 0,5% раствора проксиметакаина гидрохлорида

(ALCAINE®, SA Alcon-Couvreur NV, Puurs, Belgium). Регистрация температуры и плотности ТП проводилась через 15 минут после применения капель. Во время исследования испытуемый находился в положении сидя за щелевой лампой. Датчик теплового потока, установленный в стандартное крепление для контактных призм аппланационного тонометра Гольдмана, во всех случаях контактировал с центральной зоной роговицы. Выполнялось не менее трех измерений каждого глаза в режиме реального времени.

У всех больных с непролиферативной стадией ДР выполнялась реоофтальмография (РОГ). По данным РОГ изучался объемный показатель – реографический коэффициент (RQ), характеризующий количество крови, поступившей в глаз за единицу времени.

**Статистический анализ.** Для оценки статистической значимости определялись нормальность распределения групп, уровень статистической значимости (р-уровень). Различие сравниваемых средних значений выборок считали значимым при величине  $p < 0,05$ . Для оценки количественных показателей рассчитывали среднее значение (M) и его стандартное отклонение (SD). Для определения связи между двумя методами исследования проводился корреляционный анализ. Статистический анализ проводился с использованием пакета Statistica 10.0 [13].

### Результаты

Показатели температуры, плотности ТП поверхности глаз, внутриглазного давления, а также возраст пациентов с непролиферативной и пролиферативной стадиями диабетической ретинопатии, зарегистрированные в ходе исследования, представлены в таблице 1.

Плотность ТП глаз с пролиферативной стадией ДР, на которых была ранее выполнена лазерная коагуляция сетчатки, значимо не отличалась от показателей глаз, на которых лазерная коагуляция не проводилась ( $p=0,6$ ).

У больных с непролиферативной стадией ДР была отмечена положительная корреляционная связь показателей плотности ТП глаз с показателями коэффициента кровенаполнения глаза по данным реоофтальмографии ( $r=0,5$  при уровне значимости  $p=0,01$ ). При этом была отмечена более слабая корреляционная связь температуры роговицы с показателем RQ ( $r=0,3$  при уровне значимости  $p=0,15$ ). Так, у пациентов с показателями

**Таблица 1.** Показатели теплообмена глаз, внутриглазного давления, возраста пациентов с непролиферативной и пролиферативной стадиями ДР

	Непролиферативная стадия ДР±SD	Пролиферативная стадия ДР±SD	Уровень значимости
Температура роговицы	$34,7 \pm 1,3$ °C	$34,8 \pm 1,1$ °C	$p=0,8$
Плотность ТП глаз	$7,3 \pm 2,1$ мВт/см <sup>2</sup>	$6,2 \pm 1,6$ мВт/см <sup>2</sup>	$p=0,002$
Внутриглазное давление	$16,7 \pm 2,7$ мм рт. ст.	$16,9 \pm 3,3$ мм рт. ст.	$p=0,7$
Возраст	51±22 года	49±13 лет	$p=0,4$

коэффициента кровенаполнения до 2,0% плотность ТП глаза составила  $5,3 \pm 2,6$  мВт/см<sup>2</sup>, а у больных с показателем RQ более 2,0% –  $7,2 \pm 2,3$  мВт/см<sup>2</sup> ( $p=0,03$ ). При этом показатели температуры роговицы у пациентов с показателями коэффициента кровенаполнения до 2,0% составили  $34,3 \pm 1,0$  ° С, а у больных с показателем RQ более 2,0% –  $35,1 \pm 1,3$  ° С ( $p=0,1$ ).

На следующем этапе мы оценили зависимость плотности ТП наружной поверхности глаза от возраста человека. Для этого всех пациентов разделили на три группы в зависимости от возраста. В первую группу вошли 12 человек (24 глаза) возрастом от 16 до 30 лет, во вторую группу – 31 человек (62 глаза) возрастом от 31 года до 60 лет, в третью группу – 19 человек (37 глаз) возрастом от 60 до 86 лет. Было выявлено, что плотность ТП глаз в первой группе составила в среднем  $8,1 \pm 1,8$  мВт/см<sup>2</sup>, во второй группе –  $6,4 \pm 1,9$  мВт/см<sup>2</sup> ( $p<0,001$ ), а в третьей –  $6,1 \pm 1,8$  мВт/см<sup>2</sup> ( $p<0,001$  и  $p=0,3$  по сравнению с 1 и 2 группой, соответственно).

При проведении исследования плотности ТП травм роговицы и других осложнений не наблюдалось.

### Обсуждение

Зарегистрированные в нашей работе показатели плотности ТП поверхности глаз у больных пролиферативной стадией ДР оказались ниже по сравнению с непролиферативной стадией, что может быть связано с более глубокими нарушениями гемодинамики в пролиферативной стадии ДР. Полученные результаты согласуются с данными литературы о том, что, например, толщина хориоидес глаз с пролиферативной ДР ниже по сравнению с непролиферативной стадией [14]. При этом оказалось, что температура наружной поверхности глаз у пациентов с различными стадиями диабетической ретинопатии значимо не отличалась.

Полученные данные продемонстрировали положительную корреляционную связь между плотностью ТП и показателями RQ по данным реоофтальмографии, что подтверждает гипотезу о том, что снижение кровенаполнения сосудистого тракта глаза может являться одной из причин снижения показателей плотности ТП глаз здорового человека с возрастом [12]. При этом также следует отметить слабую корреляционную связь температуры наружной поверхности роговицы с коэффициентом кровенаполнения глаза.

Также были отмечены различия показателей плотности ТП поверхности глаз больных ДР в зависимости от возраста, что согласуется с данными, полученными у здоровых лиц, и может быть обусловлено возрастными атрофическими изменениями сосудистой оболочки и снижением ее кровенаполнения [12,15].

Таким образом, можно предположить, что ТП поверхности глаз, в отличие от температуры наружной поверхности роговицы, является более информативным показателем теплообмена, который позволяет получить значимую дополнительную информацию о состоянии кровообращения в сосудистой оболочке глаза.

Недостатком данного исследования является то, что под наблюдением находились пациенты, ранее получавшие лечение, в том числе лазерную коагуляцию сетчатки. Хотя полученные данные не выявили значимых отличий в показателях теплообмена глаз с пролиферативной стадией ДР в зависимости от того, проводилась или нет лазерная коагуляция сетчатки.

Требуются дальнейшие целенаправленные исследования возможностей метода офтальмотеплометрии для оценки его значения в диагностике различной офтальмологической патологии.

Авторы выражают благодарность д.мед.н., профессору Буйко А.С. за оказанную методологическую помощь в проведении данного исследования.

### Выводы

1. Выявлено, что показатели плотности теплового потока глаз пациентов с непролиферативной и пролиферативной стадиями диабетической ретинопатии значимо отличаются: плотность теплового потока глаз с непролиферативной стадией диабетической ретинопатии выше ( $7,3 \pm 2,1$  мВт/см<sup>2</sup>) в сравнении с пролиферативной стадией –  $6,3 \pm 1,6$  мВт/см<sup>2</sup>. При этом значимых различий температуры роговицы у пациентов с непролиферативной (34,7±1,3 ° С) и пролиферативной (34,8±1,1 ° С) стадиями диабетической ретинопатии не обнаружено.

2. Корреляционная связь коэффициента кровенаполнения глаза с плотностью теплового потока глаза сильнее, чем с температурой роговицы, у пациентов с непролиферативной стадией диабетической ретинопатии. При показателях коэффициента кровенаполнения до 2,0% плотность теплового потока глаза составила  $5,3 \pm 2,6$  мВт/см<sup>2</sup>, а при показателях коэффициента кровенаполнения более 2,0% –  $7,2 \pm 2,3$  мВт/см<sup>2</sup>.

3. Обнаружена зависимость плотности теплового потока глаз у пациентов с диабетической ретинопатией от возраста: в возрасте 16–30 лет –  $8,1 \pm 1,8$  мВт/см<sup>2</sup>, 31–60 лет –  $6,4 \pm 1,9$  мВт/см<sup>2</sup>, 60–86 лет –  $6,1 \pm 1,8$  мВт/см<sup>2</sup>.

4. Предварительные результаты свидетельствуют о том, что показатели плотности теплового потока глаза (по сравнению с температурой роговицы) более полно отражают состояние теплообмена глаза, и указывают на перспективу использования данного метода в качестве нового диагностического теста.

### Литература

1. Burfield H.J. Ocular and Systemic Diurnal Rhythms in Emmetropic and Myopic Adults / H.J. Burfield, A. Carkeet, L.A. Ostrin // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2019. – Vol. 60(6). – P. 2237-2247.
2. Słomko J. The circadian rhythm of core body temperature (Part I): The use of modern telemetry systems to monitor core body temperature variability / J. Słomko, P. Zalewski // Polish Hyperbaric Research – 2016. – Vol. 55. – P. 79-83.
3. Kazama A. Effect of increase in body temperature on cognitive function during prolonged exercise / A. Kazama, S. Takatsu, H. Hasegawa // Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. – 2012. – Vol. 61(5). – P. 459-467.

4. Boisson M. Intra-operative cutaneous temperature monitoring with zero-heat-flux technique (3M SpotOn) in comparison with oesophageal and arterial temperature: A prospective observational study / M. Boisson, A. Alaux, T. Kerforne, O. Mimoz, B. Debaene, C. Dahyot-Fizelier, D. Frasca // Eur. J. Anaesthesiol. – 2018. – Vol. 35(11). – P. 825-830.
5. Tan J.H. Infrared thermography on ocular surface temperature: A review / J.H. Tan, E.Y.K Ng, U. R. Acharya, C. Chee // Infrared Phys. Techn. – 2009. – Vol. 52. – P. 97-108.
6. Задорожний О.С. Дистанционная термография наружной поверхности глаза у пациентов с абсолютной глаукомой при проведении транссклеральной лазерной коагуляции цилиарного тела (пилотное исследование) / О.С. Задорожный, О.В. Гузун, А.Ю. Братишко, Т.Б. Кустрин, И.О. Насинник, А.Р. Король // Офтальмол. журн. – 2018. – № 2. – С. 23-28.
7. Буйко А.С. Термография на основе жидкых кристаллов в онкоофтальмологии / А. С. Буйко, А. Л. Цыкало, П. С. Терентьева // Офтальмол. журн. – 1977. – № 2. – С. 110-114.
8. Galassi F. Evaluation of ocular surface temperature and retrolbulbar haemodynamics by infrared thermography and colour Doppler imaging in patients with glaucoma / F.Galassi, B.Giambene, A.Corvi [et al.] // Br. J. Ophthalmol. – 2007. – Vol. 91. – P. 878-881.
9. Sodi A.A. Ocular surface temperature in central retinal vein occlusion: preliminary data / A.A. Sodi, B.A.D. Giambene, G.B. Falaschi [et al.] // Eur. J. Ophthalmol. – 2007. – Vol.17. – P. 755-759.
10. Kenny G.P. Body temperature regulation in diabetes / G.P. Kenny, R.J. Sigal, R. McGinn // Temperature – 2016. – Vol. 3:1. – P. 119-145.
11. Теплометрия: теория, метрология, практика. Монография в трех книгах. / Т. Г. Грищенко, Л. В. Декуша, Л. И. Воробьев [и др.]; под ред. Т. Г. Грищенко. Кн. 1: Методы и средства измерения теплового потока - К.: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2017. - 438 с.
12. Анатичук Л.И., Пасечникова Н.В., Науменко В.А., Задорожний О.С., Гаврилюк Н.В., Кобилянский Р.Р. Термоэлектрическое устройство для офтальмотеплометрии и особенности регистрации плотности теплового потока глаза человека // Офтальмол. журн. – № 3. – 2019. – С. 45-51.
13. Янковой А.Г. Многомерный анализ в системе STATISTICA / А.Г. Янковой. – Вып. 2. – Одесса: Оптимум, 2001.– 216 с
14. Sudhalkar A. Choroidal thickness in diabetic patients of Indian ethnicity / A. Sudhalkar, J.K. Chhablani, A. Venkata, R. Raman, P.S. Rao, G.B. Jonnadula // Indian J. Ophthalmol. – 2015. – Vol. 63(12). – P. 912-916.
15. Spaide R.F. Age-related choroidal atrophy / R.F. Spaide // Am. J. Ophthalmol. – 2009. – Vol. 147. – P. 801-810.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, которые могли бы повлиять на их мнение относительно предмета или материалов, описанных и обсуждаемых в данной рукописи.

Поступила 15.10.2019

## Температура і густина теплового потоку зовнішньої поверхні очей хворих на діабетичну ретинопатію (пілотне дослідження)

Анатичук Л.І., Пасечникова Н.В., Науменко В.О., Задорожний О.С., Храменко Н.І., Назаретян Р.Е., Кобилянський Р.Р.

Інститут термоелектрики НАН і МОН України, Чернівці (Україна)

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Чернівці (Україна)

ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В.П. Філатова НАМН України; Одеса (Україна)

Показники теплообміну, як відомо, характеризуються не тільки значеннями температури і їх розподілом, а й тепловим потоком (ТП).

**Мета.** Вивчити показники температури і густини теплового потоку поверхні очей пацієнтів з діабетичною ретинопатією.

**Матеріал і методи.** Під спостереженням знаходилися 62 пацієнта (123 ока) з діабетичною ретинопатією (ДР). Діагноз непроліферативної стадії ДР був встановлений у 28 хворих (55 очей), а проліферативної стадії - у 34 хворих (68 очей). Всім хворим було виконано загальноклінічні дослідження, а також термометрія зовнішньої поверхні рогівки і вимірювання густини ТП ока. У всіх хворих з непроліферативною стадією ДР виконувалася реоофтальмографія (РОГ).

**Результати.** Густина ТП очей з непроліферативною стадією ДР виявилася вище ( $7,3 \pm 2,1 \text{ мВт/см}^2$ ) в порівнянні з проліферативною стадією -  $6,3 \pm 1,6 \text{ мВт/см}^2$  ( $p=0,002$ ). При цьому температура поверхні очей у пацієнтів з різними стадіями ДР значуще не відрізнялася ( $p=0,8$ ). Було відзначено позитивний кореляційний зв'язок між густиною ТП і показниками коефіцієнта кровонаповнення очей пацієнтів з непроліферативною стадією ДР за даними РОГ. Була виявлена залежність густини ТП очей у пацієнтів з ДР від віку.

**Висновки.** Попередні результати свідчать про те, що показники густини ТП ока (у порівнянні з температурою рогівки) більш повно відображають стан теплообміну ока, і демонструють перспективу використання даного методу в якості нового діагностичного тесту.

**Ключові слова:** температура зовнішньої поверхні ока, густина теплового потоку, реоофтальмографія, діабетична ретинопатія