

УДК 576.54, 532.135, 576.526

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ РОГОВИЦЫ ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ ПО ДАННЫМ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

Е.И. Герасимова<sup>1</sup>, О.Б. Наймарк<sup>1</sup>, И.А. Пантелеев<sup>1</sup>,  
О.А. Плехов<sup>1</sup>, Т.В. Гаврилова<sup>2</sup>, Е.А. Малова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, Россия, 614013, Пермь, ул. Академика Королева, 1, e-mail: egerasimova@icmm.ru

<sup>2</sup> Кафедра глазных болезней Пермской государственной медицинской академии им. акад. Е.А. Вагнера, Россия, 614000, ул. Петропавловская, 26, e-mail: gavrilova.tv@mail.ru

**Аннотация.** Одной из главных причин обратимой слепоты в мире является возрастная катаракта. Помутнение хрусталика приводит к снижению зрения и, как следствие, качества жизни пациентов. Современным хирургическим методом лечения катаракты является факоемульсификация. В результате данной операции при помощи ультразвукового наконечника происходит дробление мутного ядра с последующей аспирацией хрусталиковых масс и имплантацией интраокулярной линзы для восстановления зрительных функций. Для оценки интенсивности процесса заживления после операции предложено отслеживать динамику разности температур оперированного и здорового глаз по данным инфракрасной термографии в различные дни наблюдения. Анализ данных, полученных при обследовании 80 глаз, показал, что предложенный параметр может служить показателем процесса заживления и интенсивности воспалительной реакции, а следовательно, метод инфракрасной термографии может быть применен для контроля течения раннего послеоперационного периода у пациентов, перенесших ультразвуковую факоемульсификацию.

**Ключевые слова:** катаракта, факоемульсификация, инфракрасная термография, динамика изменения температуры.

### АКТУАЛЬНОСТЬ

Катаракта является широко распространенным офтальмологическим заболеванием, особенно в зрелом возрасте. По данным Всемирной организации здравоохранения, катарактой страдает около 17 миллионов человек, в основном это лица старше 60 лет. Помутнение хрусталика приводит к снижению зрения и, как следствие, качества жизни пациентов. Современным хирургическим методом лечения катаракты является факоемульсификация. В результате данной операции при помощи ультразвукового наконечника происходит дробление мутного ядра с последующей аспирацией хрусталиковых масс и имплантацией интраокулярной линзы для восстановления зрительных функций. Вмешательство осуществляется через

тоннельный микроразрез, что позволяет герметизировать послеоперационную рану без наложения швов. Однако в послеоперационном периоде возможен ряд осложнений, снижающих функциональный результат операции. В частности, воспалительная реакция на операционную травму встречается у 1,8–21,5% [2, 8] больных. Поскольку при этом повышается температура окружающих тканей, выявление изменений температуры в околограневой зоне может быть использовано для прогнозирования течения послеоперационного периода, а значит, и исхода лечения.

Для регистрации температурных изменений в тканях глазного яблока в последние годы все чаще используют дистанционную термографию [1, 7]. Физиологической основой термографии является увеличение интенсивности инфракрасного излучения над патологическими очагами в связи с усилением в них кровоснабжения и метаболических процессов или уменьшение его интенсивности в областях с уменьшенным региональным кровотоком и сопутствующими изменениями в тканях и органах [4]. Данный метод является безвредным, неинвазивным, обладает высокой чувствительностью, позволяет провести измерение распределения температуры роговицы и прилегающих тканей с точностью до  $0,1^\circ$  и пространственным разрешением до 0,1 мм. При этом полностью отсутствует лучевая нагрузка на пациента, что делает возможным использование данного диагностического метода для контроля эффективности лечения.

Цель настоящего исследования заключалась в оценке возможности использования метода инфракрасной термографии для контроля течения раннего послеоперационного периода у пациентов, перенесших ультразвуковую факоэмульсификацию с имплантацией интраокулярной линзы по поводу возрастной катаракты.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 80 пациентов (49 женщин и 31 мужчина), средний возраст которых составил 67 лет, с диагнозом «катаракта». В группу включены пациенты без сопутствующей глазной патологии. Всем больным производилось хирургическое вмешательство – факоэмульсификация катаракты через малый тоннельный разрез при помощи ультразвукового аппарата *EVEREST 20.000*, *Alcon* США. Все операции выполнены опытным хирургом, проводились по стандартной методике с имплантацией мягкой интраокулярной линзы (*RUMEX*, США). До и после операции осуществлялось стандартное офтальмологическое обследование. Операции прошли без осложнений, в послеоперационном периоде у 24 пациентов на оперированных глазах был выявлен легкий десцеметит, который был купирован консервативно в течение двух дней у 19 человек, к четвертым суткам – у 5. Острота зрения, сниженная до операции, повысилась на всех глазах. Показатели внутриглазного давления до и после операции были в пределах нормы.

Инфракрасное сканирование поверхности здорового и оперированного глаза вместе с прилегающими тканями проводилось за один день до операции, на первый день после операции и на четвертый день после операции. Применялась инфракрасная камера *CEDIP Silver 450M* (спектральный диапазон 3–5 мкм). Во время съемки были соблюдены все необходимые для проведения исследования условия [7]: температура и влажность воздуха в смотровой комнате поддерживались на одном уровне, адаптация пациента к условиям исследования продолжалась в течение 5–10 минут. Термографическую съемку производили в положении больного сидя в проекции «анфас». Оба глаза и окружающие ткани пациента снимались в течение 10 с с частотой 100 Гц. Высокая частота съёмки позволяла гарантировать наличие кадров с достаточной степенью резкости для каждого пациента и исследовать изменение температуры роговицы пациента после её нагрева веком в момент моргания.

При обследовании использовался объектив  $G 0.5 1:3.0$ , позволяющий проводить съёмку глаза с высоким пространственным разрешением (до  $0,1$  мм). Исследование осуществлялось без применения дополнительных фармакологических препаратов.

Для обработки полученных данных использовалось стандартное программное обеспечение (*Altair*).

На рис. 1 представлено типичное изображение глаза в инфракрасном диапазоне. Наиболее низкая температура наблюдается в области зрачка, наиболее высокая в окружающих тканях в проекции внутренней спайки век. Измерение температуры роговицы, наряду с техническими проблемами, связанными с отражением на границе раздела воздух–роговица, осложняется процессами испарения слезы на поверхности роговицы и её периодическим нагревом в процессе моргания. На рис. 2 представлено изменение температуры роговицы в процессе моргания. Температура века существенно превышает температуру роговицы (см. рис. 1), в результате в процессе между соседними морганиями температура роговицы монотонно уменьшается за счёт испарения слезы, и это изменение может достигать  $0,4$  °C [1, 3, 10]. В работах [5, 6] предложена методика подбора оптимального момента времени для измерения характерной температуры глаза. В данной работе в качестве контрольных параметров использовались функциональные зависимости абсолютной температуры роговицы в области лимба (исключая область зрачка, см. рис. 1) от времени на оперированном глазу, а также разность температур оперированного и парного глаз.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 3 представлена разность средних температур оперированного глаза до и на первый день после операции. Анализ данных, представленных на рис. 4, позволяет сделать вывод о существенном варьировании данного параметра от значительного повышения (на  $3,51$ °C) до существенного понижения (на  $1,71$ °C).

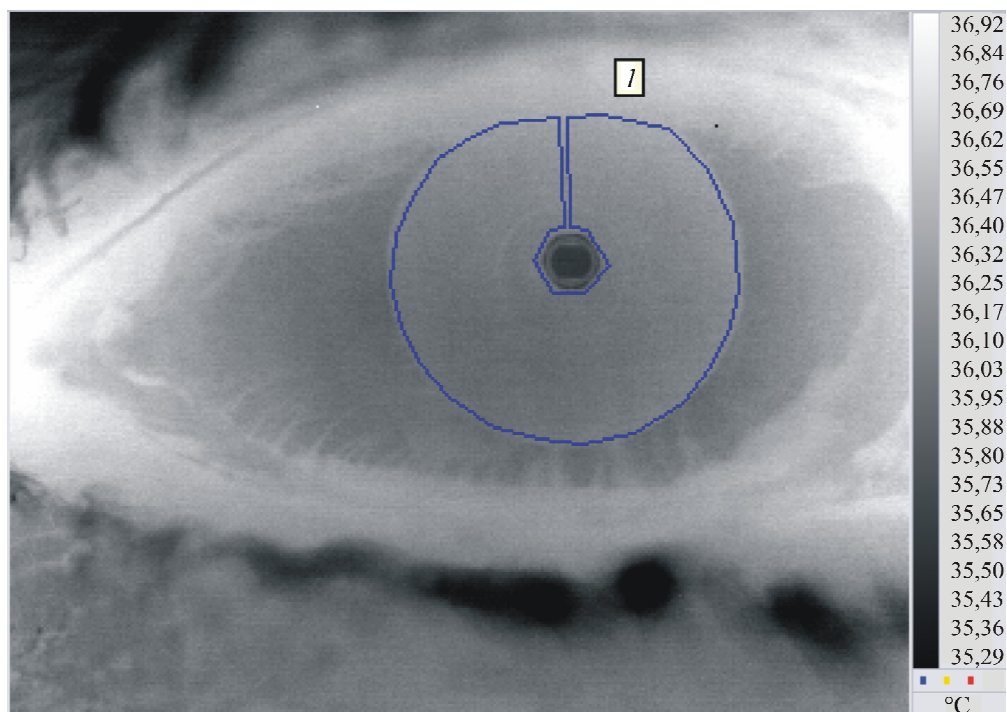


Рис. 1. Инфракрасное изображение глаза. Контуром (номер контура указан в квадрате) выделена область исследования

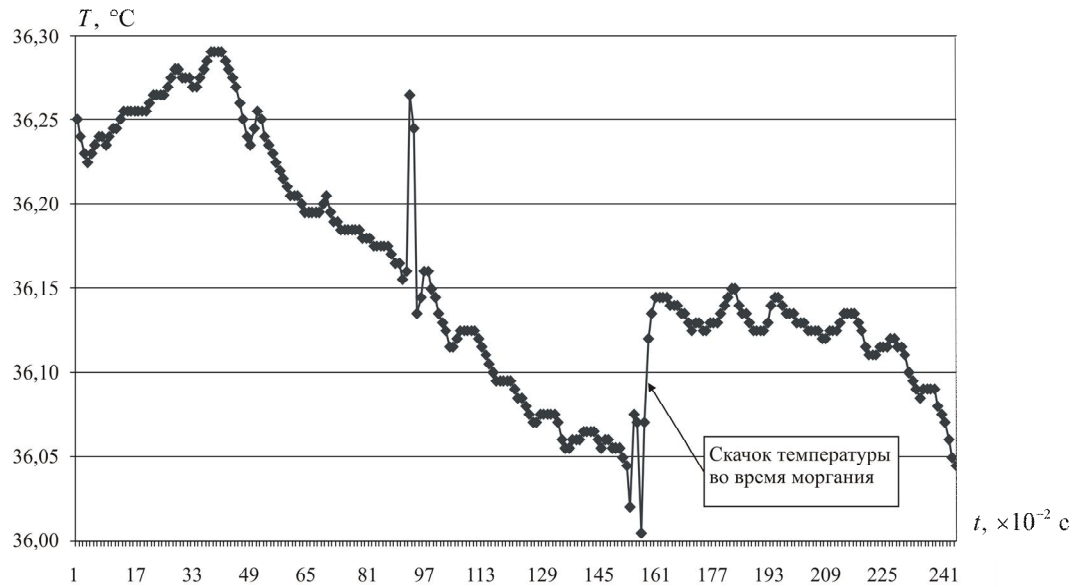


Рис. 2. График изменения средней температуры роговицы при моргании,  $t$  – время наблюдения

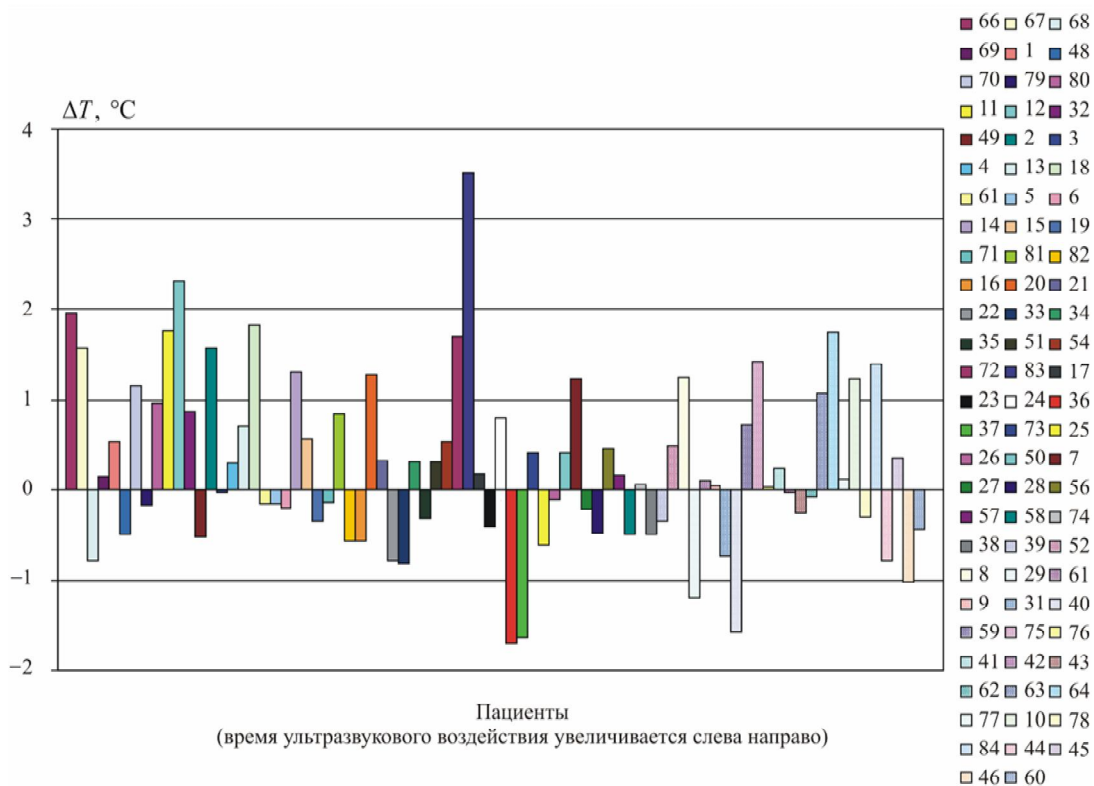


Рис. 3. Разность температуры оперированного глаза до операции и на первые сутки после операции (всего обследовано 80 глаз)

Величина разброса температуры более пяти градусов существенно (более чем на порядок) превышает точность проводимых измерений, это позволяет утверждать, что полученные данные являются объективными. По-видимому, наблюдаемый разброс вызван индивидуальными особенностями вегетативной нервной системы пациента, работа которой в одних случаях вызывает спазм сосудов, питающих глаз, и, соответственно, снижение температуры роговицы, а в других – дилатацию сосудов и повышение температуры.

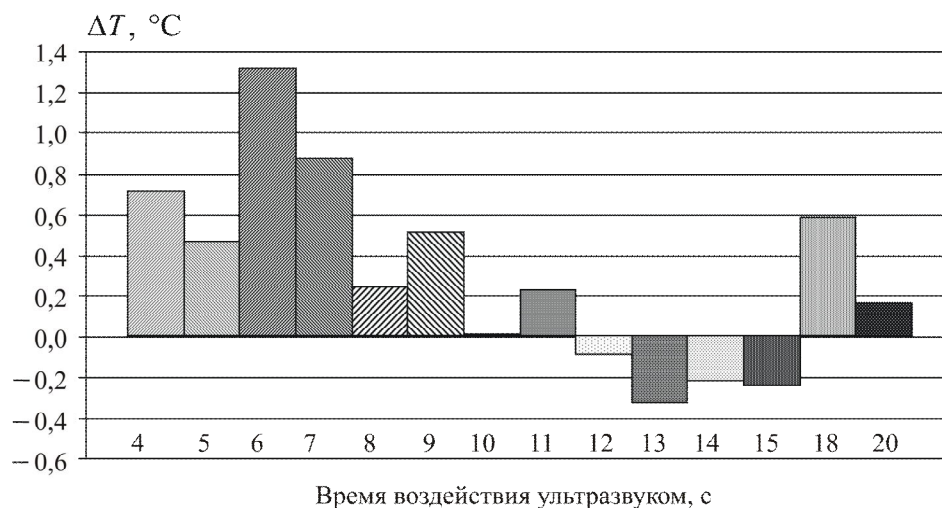


Рис. 4. Зависимость изменений температуры оперированного глаза на первый день после операции от времени ультразвукового воздействия

Следуя общепринятой практике [9], все пациенты, принимавшие участие в исследовании, были объединены в группы, соответствующие определенному времени ультразвукового воздействия. В пределах каждой группы определялось среднее значение разности температуры оперированного глаза до и после операции. На рис. 4 представлена гистограмма значений контрольного параметра для каждой группы.

Из анализа данных, представленных на рисунке, можно сделать вывод о том, что при меньшем времени ультразвукового воздействия наблюдается повышение температуры на оперированном глазу, при большем времени воздействия – понижение температуры.

В процессе исследования пациенты наблюдались амбулаторно, в результате динамика изменения температуры за более длительный период была исследована только у 38 больных. Анализ полученной совокупности данных позволил выделить четыре основные реакции температуры роговицы глаза на операционное воздействие, при этом ни одна из реакций не является доминирующей.

Изменение абсолютной температуры роговицы оперированного глаза до и в различные дни после операции для всех пациентов представлено на рис. 5. У 42% пациентов (рис. 5, а) наблюдается понижение температуры роговицы оперированного глаза по сравнению с дооперационной температурой, а у 34% пациентов (рис. 5, б) наблюдается повышение температуры роговицы в течение всего послеоперационного периода наблюдения. Данный факт может быть связан как с особенностями реакции вегетативной нервной системы, так и с наличием сопровождающих воспалительных процессов.

У 13% пациентов (рис. 5, в) зафиксированы повышение температуры роговицы на первый день после операции, а затем последующая нормализация температуры на четвертый день после операции. У 11% пациентов (рис. 5, г) температура роговицы снижается в течение всего периода наблюдения.

На рис. 6, 8 и 10 представлены характерные зависимости температуры от времени в различные дни наблюдения для трёх пациентов. Наблюдение за динамикой температуры проводилось в области роговицы, максимально близко расположенной к операционному разрезу (9–12 часов лимба). В выделенных областях строилась зависимость средней температуры от времени в течение всего периода инфракрасного сканирования (10 с с частотой 100 Гц).

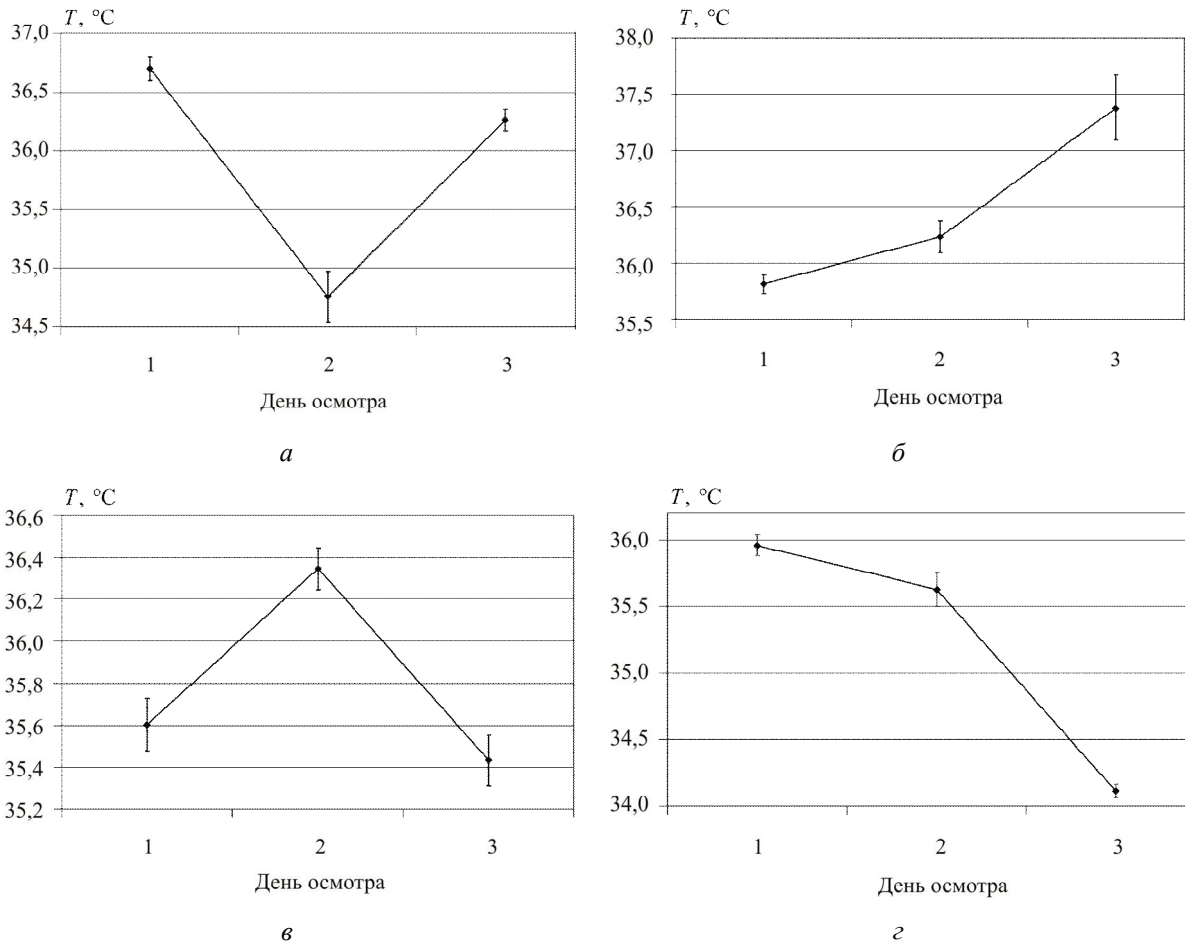


Рис. 5. Зависимость изменений температуры оперированного глаза от времени наблюдения (точка 1 – до операции, 2 – на первый день после операции, 3 – четвертый день после операции)

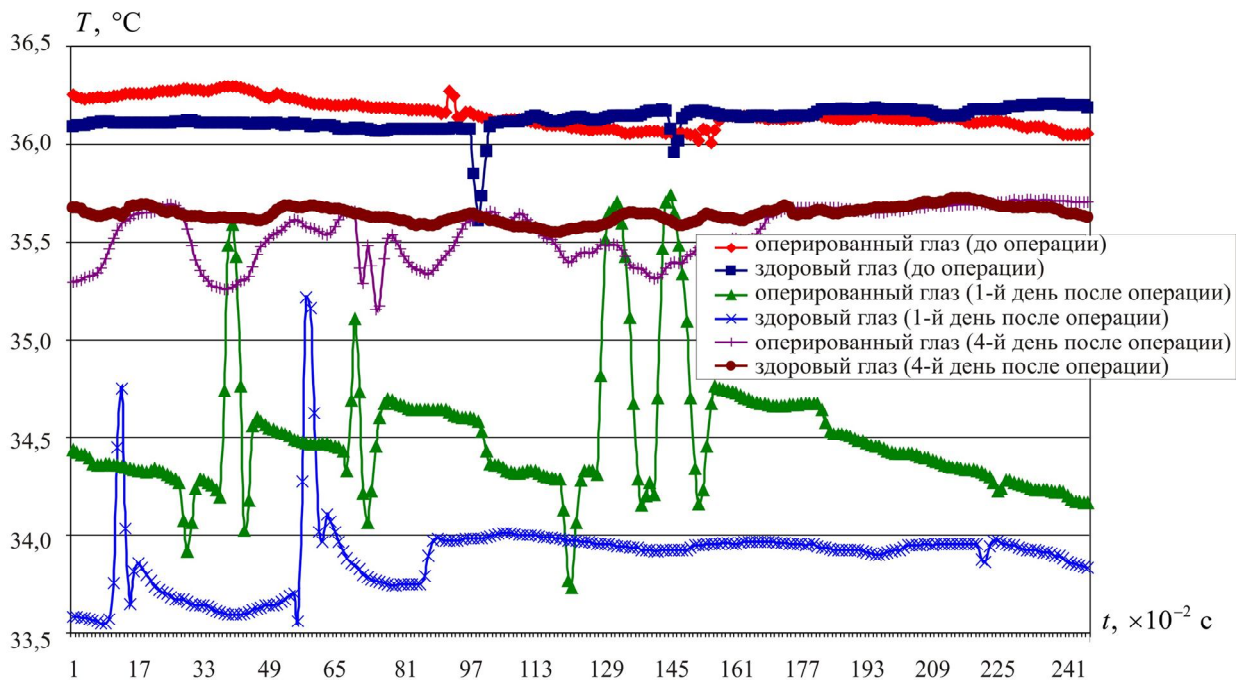


Рис. 6. Зависимость средней температуры роговицы от времени наблюдения пациента без воспалительной реакции роговицы

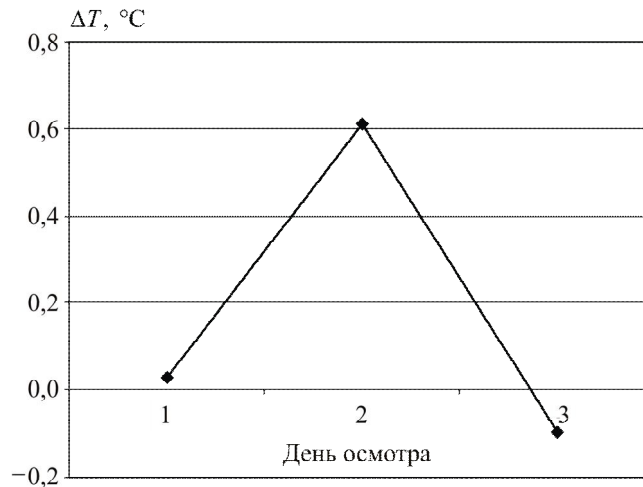


Рис. 7. Динамика разности температур оперированного и здорового глаз в различные дни наблюдения для пациента без воспалительной реакции роговицы (точка 1 – до операции, 2 – на первый день после операции, 3 – четвертый день после операции)

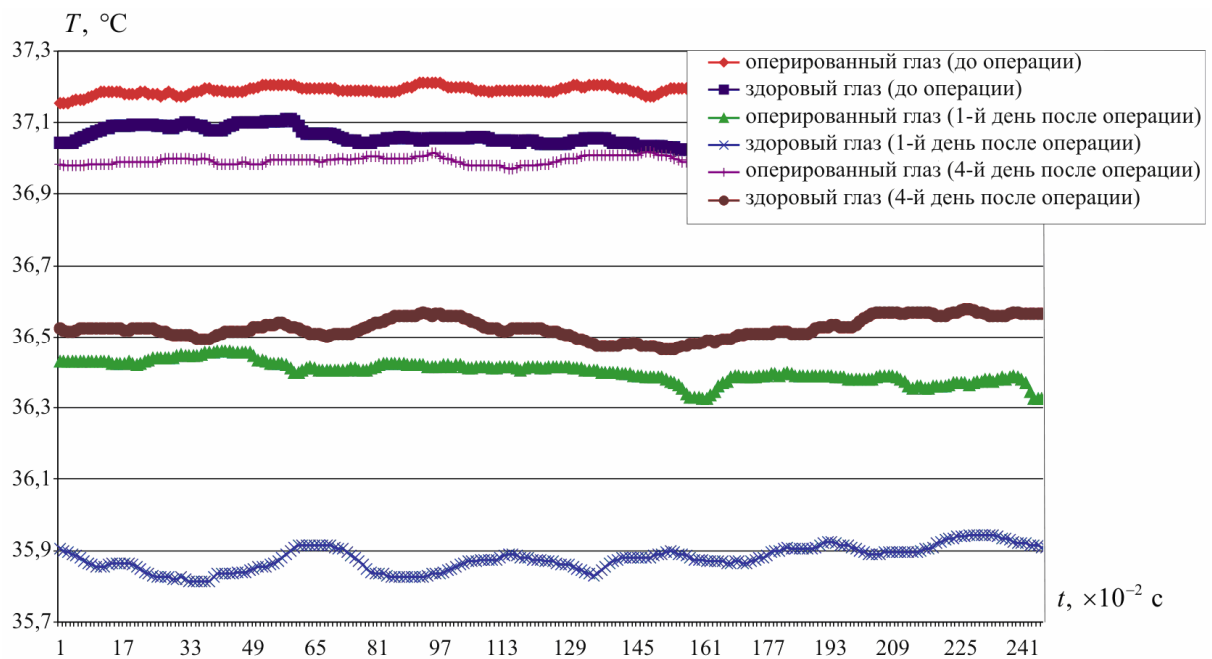


Рис. 8. Зависимость средней температуры роговицы от времени наблюдения для пациента с воспалительной реакцией роговицы

На рис. 6 представлены зависимости средних температур обследуемых глаз в каждый из дней наблюдения для пациента с характерной положительной динамикой реабилитации. Существенные колебания температуры на графиках в первый день после операции в виде характерных всплесков, сопровождающихся экспоненциальным остыванием, вызваны морганием пациента. На рис. 7 представлена динамика разности осредненных по времени наблюдения температур оперированного и здорового глаз в различные дни наблюдения.

Из анализа данных, представленных на рис. 7, можно сделать вывод о том, что за день до операции контрольный параметр соответствует норме. На первый день после операции наблюдается повышение температуры на оперированном глазу по сравнению

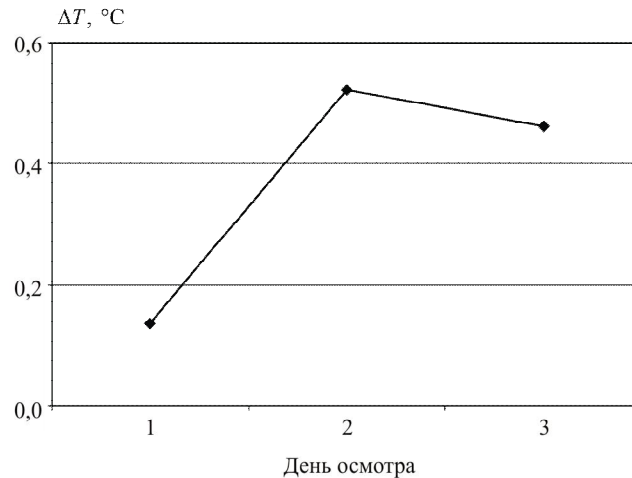


Рис. 9. Динамика разности температур оперированного и здорового глаз в различные дни наблюдения для пациента с воспалительной реакцией роговицы (точка 1 – до операции, 2 – на первый день после операции, 3 – четвертый день после операции)

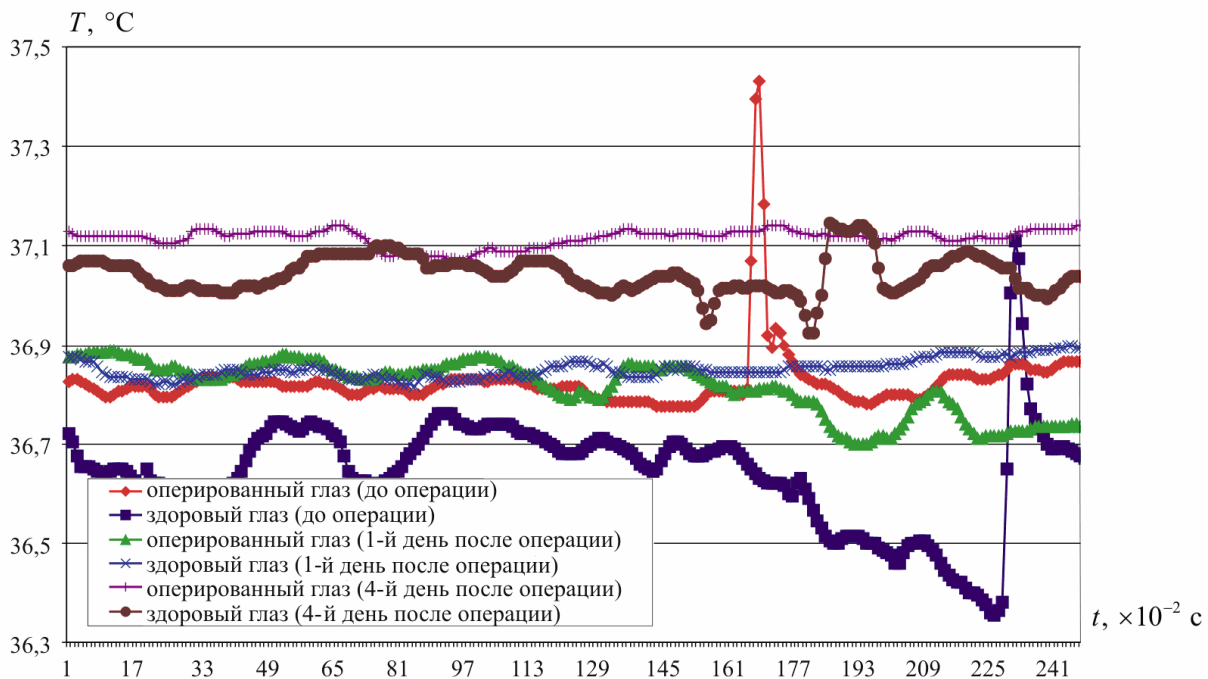


Рис. 10. Зависимость средней температуры роговицы от времени наблюдения для пациента с хорошими восстановительными свойствами роговицы

со здоровым, что приводит к существенной разнице температур и росту величины контрольного параметра. На четвертый день температура оперированного глаза снижается и значение контрольного параметра приходит в норму.

На рис. 8 представлены зависимости средних температур обследуемых глаз в каждый из дней наблюдения для пациента с единичными складками десцеметита на оперированном глазу. Аналогично данным, представленным на рис. 5, разность температур оперированного и здорового глаз за день до операции не превышает нормы. На первый день после операции наблюдается повышение температуры на оперированном глазу по сравнению со здоровым, что говорит о наличии воспалительной реакции глаза в ответ на хирургическое вмешательство. На четвертый день температура оперированного глаза снижается, но не приходит в норму.



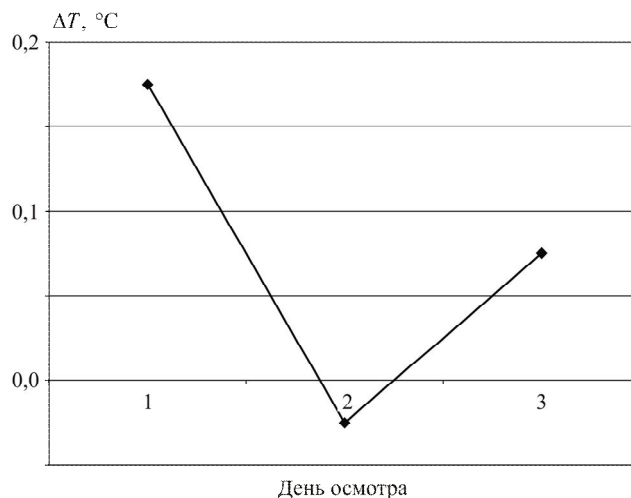


Рис. 11. Динамика разности температур оперированного и здорового глаз в различные дни наблюдения для пациента с хорошими восстановительными свойствами роговицы (точка 1 – до операции, 2 – на первый день после операции, 3 – четвертый день после операции)

Отсутствие нормального значения контрольного параметра на четвёртый день после операции говорит о наличии воспалительной реакции роговицы на операционную травму и увеличении времени реабилитации.

На рис. 10 представлены зависимости средних температур обследуемых глаз в каждый из дней наблюдения для пациента с хорошими восстановительными свойствами роговицы. Для данного пациента хирургическое вмешательство не вызвало существенного изменения разности температур на оперированном и здоровом глазах. В разные дни наблюдения температура была различна, при этом разность не превышала допустимого значения. Данный факт говорит об отсутствии воспалительной реакции на хирургическое вмешательство.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено инфракрасное сканирование 80 глаз. Для оценки интенсивности процесса заживления после операции предложено отслеживать динамику разности температур оперированного и здорового глаз в различные дни наблюдения. Исследование показало, что изменение данного параметра более чем на  $0,4^\circ$  в первый послеоперационный день свидетельствует о наличии стрессовой ситуации для организма после операции. Дальнейшее повышение параметра в последующие дни наблюдения указывает на присутствие воспалительных процессов. Снижение параметра в послеоперационный период наблюдения характерно для пациентов, перенесших операцию без каких-либо осложнений. Таким образом, оценка динамики разности температур оперированного и здорового глаз в различные дни наблюдения может служить показателем процесса заживления и интенсивности воспалительной реакции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антончик С.Л. Температурные характеристики органа зрения в норме и при некоторых патологических процессах: дис. ... канд. мед. наук. – Тюмень, 2005. – 142 с.
2. Архипова Л.Т., Леванова О.Г., Чупров А.Д., Зайцева Г.А. Клинико-иммунологические факторы прогнозирования ранней экссудативной реакции после экстракции сенильной катаракты с имплантацией эластичных интраокулярных линз // Вестник офтальмологии. – 1999. – № 2. – С. 25–27.
3. Бакбардина Л.М. Термометрическая диагностика воспалительного процесса переднего отдела увеального тракта: дис. ... канд. мед. наук. – Одесса, 1988. – 176 с.

4. Бровкина А.Ф. Болезни орбиты. – М.: Медицина, 1993. – 239 с.
5. Каменских Т.Г., Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Сумарокова Е.С., Галанжа В.А., Сагайдачный А.А., Лопатинская Н.Р. Тепловизионное исследование в изучении влияния препарата Офтаквикс на течение послеоперационного периода факоэмульсификации катаракты // Русский медицинский журнал. – 2009. – Т. 10, № 3. – С. 25–31.
6. Лопатинская Н.Р., Каменских Т.Г., Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Галанжа Е.С., Сумарокова В.А., Сагайдачный А.А. Динамический тепловизионный контроль состояния глаза в послеоперационном периоде факоэмульсификации катаракты // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2010. – Т. 6, № 2. – С. 346–350.
7. Пантелеева О.Г. Компьютерная термография в диагностике злокачественных опухолей глаза и орбиты // Клиническая офтальмология. – 2001. – Т. 2, № 1. – С. 36–42.
8. Фабрикантов О.С., Белый Ю.А. Влияние технологии удаления катаракты на частоту осложнений в послеоперационном периоде и функциональные результаты // Современные технологии хирургии катаракты: сб. науч. тр. – М., 2000. – С. 157–161.
9. Kalisz O., Gerkowicz M., Wolski T., Gozdzik K., Baranowski P., Mazurek W., Rozegnal-Madej A. Thermographic evaluation of healing process on patient after surgery of caratact with the use of phacoemulsification // Processing of the 9-th Quantitative InfraRed Thermography Conference. – Krakov, 2008. – P. 115–119.
10. Morgan P.B., Soh M.P., Efron N., Tullo A.B. Potential applications of ocular thermography // Optom. Vis. Sci. – 1993 – Vol. 70, No. 7. – P. 568–576.

## INVESTIGATION OF CORNEA TEMPERATURE DYNAMICS AFTER PHACOEMULSIFICATION BASED ON INFRA-RED THERMOGRAPHY DATA

**E.I. Gerasimova, O.B. Naimark, I.A. Panteleev, O.A. Plekhov, T.V. Gavrilova, E.A. Malova (Perm, Russia)**

Age cataract is a most common cause of reversible blindness in the world. The occurrence of lenticular opacity decreases visual acuity, which undoubtedly reduces quality of life for many patients. A modern technique of cataract treatment is phacoemulsification. During this procedure, the tip of the instrument is introduced into the eye through a small incision. Localized high frequency waves are generated through this tip to break the cataract into pieces, which are then sucked out through the same tip. At the end of the procedure, an intraocular lens is inserted in the operated eye for visual rehabilitation. In the present paper, it is suggested to evaluate the intensity of healing process after cataract surgery based on the dynamics of temperature difference in operated and non-operated healthy eyes in different days of operation using infra-red thermography results. The analysis of the data obtained during the observation of 80 patients has shown that the proposed parameter can serve as an indicator of postoperative recovery and inflammatory reaction intensity and, consequently, the infra-red thermography method can be efficient for controlling the early postoperative period of patients with vision problems treated by ultrasonic phacoemulsification.

**Key words:** cataract, phacoemulsification, infra-red thermography, temperature dynamics.

*Получено 16 марта 2011*