

ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ РЕВАСКУЛЯРИЗИРУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ ХОРИОИДЕИ МЕТОДАМИ ИНФРАКРАСНОЙ РАДИОТЕРМОМЕТРИИ

УДК 615.849:618.1–089.168.1

Поступила 19.03.2013 г.



П.И. Орлов, врач-офтальмолог¹;
Н.М. Шахова, д.м.н., ведущий научный сотрудник²;
И.Я. Орлов, д.т.н., профессор кафедры радиотехники³

¹Клиническая больница №50 ФМБА, Саров, Нижегородская область, 607190, Нижегородская область, ул. Зернова, 72, Больничный городок;

²Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород, 603155, ул. Ульянова, 46;

³Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского — Национальный исследовательский университет, Н. Новгород, 603950, проспект Гагарина, 23

Цель исследования — оценка возможности инфракрасной радиотермометрии для мониторинга реваскуляризирующих операций хориоидеи.

Материалы и методы. С помощью переносного микропроцессорного инфракрасного радиотермометра изучены поверхностная температура глазного яблока и температурная асимметрия глаз. Мониторинг реваскуляризирующих операций проведен у пациентов с центральной хориоретинальной дистрофией сетчатки после трансплантации биоматериала «Аллоплант» (Россия).

Результаты. До операции отмечено снижение температуры больного глаза и увеличение температурной асимметрии. Через 5 дней после операции наблюдается повышение поверхностной температуры оперированных глаз и смена направленности асимметрии за счет реактивного воспаления, через 10 дней — снижение температурной асимметрии с достижением нормы к 40-му дню наблюдения. Выявлена динамика температурной асимметрии глаз в постоперационном периоде у пациентов после трансплантации аллоплантов с целью реваскуляризации сетчатки.

Возможность неинвазивно в режиме реального времени оценивать динамику температурной асимметрии глаз показывает перспективность использования инфракрасной радиотермометрии для динамического контроля непосредственных и отдаленных результатов трансплантации биоматериалов с целью коррекции кровоснабжения сетчатки при дегенеративных возрастных изменениях.

Ключевые слова: инфракрасная радиотермометрия; реваскуляризация; дистрофия сетчатки; реваскуляризирующая операция хориоидеи.

English

Choroidal Revascularization Postoperative Monitoring by Infrared Radiothermometry Methods

P.I. Orlov, Ophthalmologist¹;
N.M. Shakhova, D.Med.Sc., Leading Research Worker²;
I.Ya. Orlov, D.Tech.Sc., Professor, the Department of Radioengineering³

¹Clinical Hospital No.50 of Federal Medical and Biological Agency, Bolnichny gorodok, Zernova St., 72, Sarov, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 607190;

²Institute of Applied Physics of Russian Academy of Sciences, Ul'yanova St., 46, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603155;

³Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky — National Research University, Gagarin Avenue, 23, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603950

The aim of the investigation was to assess the possibilities of infrared radiothermometry for choroidal revascularization surgery monitoring.

Materials and Methods. A portable microprocessor-based infrared radiothermometer was used to study eyeball surface temperature and eye temperature asymmetry. The patients with central chorioretinal dystrophy after "Alloplant" (Russia) biomaterial transplantation underwent monitoring of revascularization operations.

Для контактов: Шахова Наталия Михайловна, тел. раб. 8(831)436-80-10, тел. моб. +7 951-907-47-49; e-mail: natalia.shakhova@gmail.com

Results. There were the reduction of the affected eye temperature and the increase of temperature asymmetry before the operation. 5 days after the surgery surface temperature of the operated eyes increased and the asymmetry direction changed due to reactive inflammation. 10 days later the temperature asymmetry decreased and reached its norm by the 40th follow-up day. The patients after alloplant transplantation for retinal revascularization were found to have the change of eye temperature asymmetry in postoperative period.

The possibility of noninvasive real-time monitoring of the eye temperature asymmetry change shows the application perspectiveness of infrared radiothermometry for dynamic control of immediate and long-term results of biomaterial transplantation for retinal blood supply correction in degenerative age-related changes.

Key words: infrared radiothermometry; revascularization; retinal dystrophy; choroidal revascularization operation.

Сенильная макулярная дегенерация занимает одно из первых мест в структуре необратимой слепоты [1]. Медикаментозный метод в ряде случаев позволяет стабилизировать состояние пациентов и затормозить развитие дистрофического процесса, однако восстановить нормальное состояние сетчатки терапевтическим путем не удастся. Один из способов хирургического лечения данной патологии — реваскуляризирующие операции сосудистой оболочки — частично решает эту проблему у больных с атрофической формой возрастной макулярной дегенерации (ВМД) [2]. Современным методом мониторинга таких операций является оптическая когерентная томография (ОКТ) [3, 4]. Однако с ее помощью можно оценить только морфологические особенности, для оценки функциональных результатов она неприменима.

Как правило, в ответ на введение трансплантата развивается асептическое воспаление, приводящее к усилению притока крови к главному яблоку и, как следствие, изменению температурного показателя. Точное измерение температуры в зоне интереса целесообразно для контроля эволюции очага на фоне проводимого лечения. Широко используемые в настоящее время методы измерения температуры имеют ряд особенностей, ограничивающих их применение: контактность метода, влияние на точность качества контакта, изменение условий передачи тепла [5, 6]. Наиболее перспективной является бесконтактная термометрия путем применения инфракрасных (ИК) радиотермометров [7, 8]. Эти приборы бесконтактно измеряют собственное тепловое излучение поверхности объекта в инфракрасном диапазоне длин волн. Они регистрируют радиояркую температуру, т.е. температуру, соответствующую мощности электромагнитного излучения тела человека. Достоинством ИК-радиотермометрии является дистанционность, бесконтактность, абсолютная безвредность и возможность многократного динамического наблюдения. Необходимо отметить активное использование в последнее время ИК-радиотермометрии (пирометрии) для контроля воздействия в различных приложениях: для оценки температурных эффектов лазерного облучения [9–11], при анализе процесса замораживания в криохирургии [12], при лечении венозных язв [13, 14], при реабилитации верхних конечностей [15] и др.

Учитывая, что основным следствием реваскуляризирующих операций хориоидеи является процесс индуцированного асептического воспаления и, следовательно, локальное повышение температуры, мы сочли перспективным использовать бесконтактную ИК-ра-

диотермометрию для оценки эффективности данного вмешательства.

Цель исследования — оценить возможности инфракрасной радиотермометрии для мониторинга реваскуляризирующих операций хориоидеи у больных с атрофической формой возрастной макулярной дегенерации.

Материалы и методы. В работе применен переносной микропроцессорный ИК-радиотермометр (рис. 1), разработанный на кафедре радиотехники ННГУ им. Н.И. Лобачевского (Н. Новгород) [16, 17] для медико-биологических исследований.

В приборе предусмотрено использование для связи с компьютером беспроводного канала передачи данных стандарта ISM 868 MHz (Industry Science Medicine), который специально предназначен для работы в медицинских учреждениях. Используя компьютер, можно производить необходимую обработку полученных данных (например, вычисление дисперсии результатов измерения, минимальных и максимальных значений), их отображение в реальном масштабе времени в виде графика и цифровых значений, а также архивацию протоколов исследования, в том числе в форматах TXT и CSV, для последующей обработки данных в таких программах, как Excel.

Измерения делаются двукратно, троекратно для уменьшения случайной погрешности. После фиксации каждого измерения полученные данные заносятся в память прибора. Радиометр может в процессе цикла измерений содержать данные 20 измерений. Время обследования одного пациента при такой методике измерения составляет 1,0–1,5 мин.

Изучали следующие показатели: поверхностную температуру глазного яблока, в том числе в различных его участках, и температурную асимметрию глаз.

Для разработки критериев «нормы» с использованием метода ИК-радиотермометрии обследованы волонтеры с общесоматическими заболеваниями при отсутствии офтальмологической патологии. Контрольная группа включала 49 человек (мужчины — 21, женщины — 28) в возрасте 16–64 года, средний возраст — 35 лет.

Основную группу составили 9 пациентов (мужчины — 6, женщины — 3) с атрофической формой ВМД в возрасте 46–75 лет, средний возраст — 61 год, которым проводилась реваскуляризирующая операция сосудистой оболочки глаза с использованием биоматериала «Аллопласт» (Россия). Радиотермометрию в качестве мониторинга выполняли перед операцией (за



Рис. 1. Структурная схема ИК-радиотермометра: ПД (ИК) — пиродатчик инфракрасного канала; ПД (КК) — пиродатчик компенсационного канала

сутки) и в ближайший послеоперационный период (5, 10, 40-е сутки после операции).

Результаты. В контрольной группе поверхностная температура глазного яблока находилась в интервале 32–35,5°C. Получена зависимость поверхностной температуры глазного яблока от возраста пациентов: у молодых людей (16–35 лет) ее значение составляло 34,5–35,5°C, что в среднем на 2–2,5°C выше, чем у пожилых (старше 50 лет). Это объясняется снижением с возрастом уровня общего и локального кровообращения, а значит, и снижением уровня теплопереноса, от которого зависит поверхностная температура глазного яблока. Отмечено постепенное снижение поверхностной температуры от периферии температуры от периферии глазного яблока к центру роговицы: температурная разница между ними составляет 0,3–0,4°C. Температурная асимметрия глаз, измеренная в центре роговицы, в норме не превышает 0,25°C.

В группе пациентов, страдающих ВМД, отмечено снижение температуры больного глаза, приводящее к увеличению температурной асимметрии глаз до 0,3–1,15°C (см. таблицу).

Как видно из таблицы, через 5 дней после операции можно отметить повышение поверхностной температуры

оперированных глаз на 1,0–2,5°C. Температурная асимметрия меняла «направленность» за счет значительного повышения температуры оперированного глаза, что свидетельствует о развитии реактивного воспаления в ранние сроки после введения аллопланта. Через 10 дней температура оперированного глаза начинает

Мониторинг реваскуляризирующей операции методом ИК-термометрии

№ п/п	Больной, возраст, оперированный глаз	Температура, °C							
		до операции		через 5 дней		через 10 дней		через 40 дней	
		OD	OS	OD	OS	OD	OS	OD	OS
1	Б., 68, OS	33,45	32,3	33,4	34,8	33,49	34,77	33,86	34,6
2	Т., 40, OS	33,56	33,26	33,98	34,63	33,9	34,85	33,9	34,08
3	Т., 58, OD	33,4	33,83	34,27	33,2	34,8	33,6	33,9	33,70

Здесь сь: OD — правый глаз, OS — левый глаз.

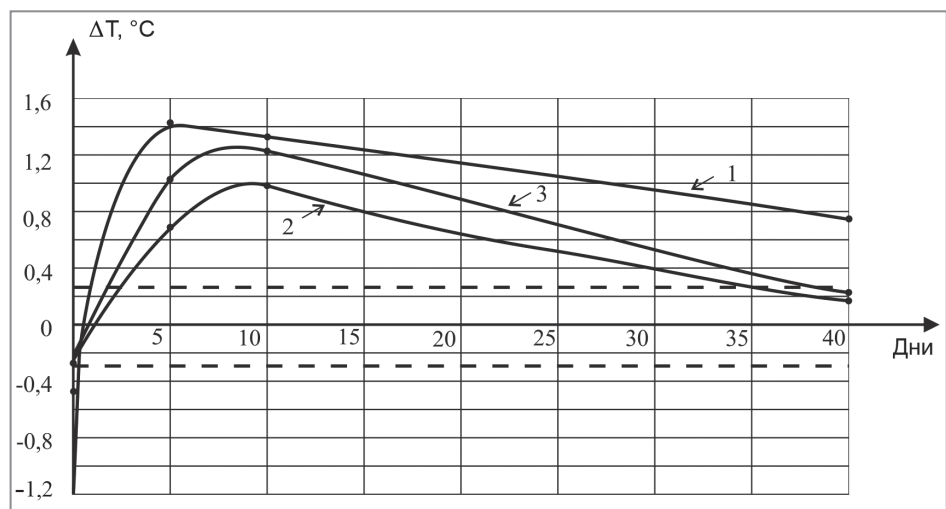


Рис. 2. Динамика температурной асимметрии здорового и больного глаза после проведения реваскуляризации сосудистой оболочки. Между штриховыми линиями показан разброс температурной асимметрии в норме. Номера графиков соответствуют позициям 1, 2, 3 таблицы

уменьшаться, что приводит к снижению и температурной асимметрии глаз. Нормы этот показатель, по нашим данным, должен достигнуть к 40-му дню наблюдения.

Динамика изменения температурной асимметрии глаз после трансплантации аллопланта на фоне противовоспалительной терапии проиллюстрирована на рис. 2. Сохранение температурной асимметрии глаз (пример 1), по нашему мнению, может свидетельствовать о продолжающихся явлениях послеоперационного воспаления, что может потребовать индивидуальной коррекции.

Обсуждение. Исследование убедительно показало возможность мониторинга поверхностной температуры глаз с оценкой температурной асимметрии у пациентов с атрофической формой ВМД после проведения ревазуляризирующих операций сосудистой оболочки глаза. При изучении динамики температурной асимметрии отмечена связанная с воспалительным процессом послеоперационная «обратная» по сравнению с дооперационной температурная асимметрия здорового и прооперированного глаза. В дальнейшем происходило стойкое длительное уменьшение «обратной» температурной асимметрии до значения, соответствующего норме.

Результаты проведенной ИК-радиотермометрии показывают ряд температурных закономерностей, характерных для ревазуляризирующих операций хориоидеи. Операция приводит на первом этапе к реактивному воспалению, а затем — к увеличению кровоснабжения собственной сосудистой оболочки в области трансплантата, что фиксируется и по данным поверхностной температуры, и более объективно — по показателю температурной асимметрии.

Возможность в режиме реального времени оценивать динамику температурной асимметрии глаз позволяет выполнять индивидуальный мониторинг раннего и отдаленного послеоперационного периода при использовании ревазуляризирующих технологий.

Заключение. Полученные результаты показывают перспективность применения инфракрасной радиотермометрии для динамического контроля непосредственных и отдаленных результатов и сроков выздоровления при трансплантации биоматериалов с целью коррекции кровоснабжения сетчатки глаза при дегенеративных возрастных изменениях.

Работа выполнена при поддержке гранта 11.G34.31.0066 Правительства РФ.

Литература

1. Панова И.Е., Прокопьева М.Ю., Кинзерский А.Ю., Ермак Е.М. Исследование хориоидального кровотока у пациентов с начальной стадией возрастной макулярной дистрофии. В кн.: Труды Всероссийской конференции «Ерошевские чтения». Самара; 2007; с. 376–378.
2. Дога А.В., Магарамов Д.А., Качалина Г.Ф., Сергеева Е.С. Лазерное лечение некоторых заболеваний сетчатки. Вестник офтальмологии 2011; 6: 60–64.
3. Степанов А.В., Луговкина К.В., Джигоева А.В. Новые методы в диагностике интраокулярной эпителиальной пролифера-

ции. Российский офтальмологический журнал 2011; 4(2): 52–55.

4. Нероев В.В., Зайцева О.В., Кузнецова И.С. Анализ данных оптической когерентной томографии у пациентов до и после хирургии регматогенной отслойки сетчатки. Российский офтальмологический журнал 2012; 5(4): 57–62.

5. Ильяхин О.Е., Кумар Л.А. Термографический анализ коаксиальной, микроаксиальной и бимануальной фактоэмульсификации. Российский офтальмологический журнал 2010; 3(1): 8–12.

6. Афанасьев А.В., Афанасьева О.А., Мазунин И.Ю., Орлов П.И. Контроль методами ИК и СВЧ радиометрии процессов установления термодинамического равновесия в биологических тканях. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского 2005; 2(3).

7. Сметанкин И.Г. Возможности метода дистанционной инфракрасной радиопирометрии при определении температуры роговичной раны во время фактоэмульсификации катаракты. Вестник офтальмологии 2009; 5: 12–14.

8. Орлов П.И. Инфракрасная радиотермометрия в дифференциальной диагностике дистрофических и воспалительных заболеваний переднего отдела глаза. Вестник офтальмологии 2008; 2: 19–22.

9. Verkruysse W., Jia W., Franco W., Milner T.E., Nelson J.S. Infrared measurement of human skin temperature to predict the individual maximum safe radiant exposure (IMSRE). Lasers Surg Med 2007 Dec; 39(10): 757–766.

10. Plaghki L., Mouraux A. How do we selectively activate skin nociceptors with a high power infrared laser? Physiology and biophysics of laser stimulation. Clinical Neurophysiology 2003; 33(6): 269–277.

11. Leandri M., Saturno M., Spadavecchia L., Iannetti G.D., Cruccu G., Truini A. Measurement of skin temperature after infrared laser stimulation. Neurophysiol Clin 2006; 36(4): 207–218.

12. Yan J.F., Liu J., Zhou Y.X. Infrared image to evaluate the selective directional freezing due to localized injection of thermally important solutions. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc; 2005; 4: 3559–3562.

13. Armstrong D.G., Holtz-Neiderer K., Wendel C., Mohler M.J., Kimbriel H.R., Lavery L.A. Skin temperature monitoring reduces the risk for diabetic foot ulceration in high-risk patients. Am J Med 2007 Dec; 120(12): 1042–1046.

14. Sayre E.K., Kelechi T.J., Neal D. Sudden increase in skin temperature predicts venous ulcers: a case study. J Vasc Nurs 2007 Sep; 25(3): 46–50.

15. Packham T.L., Fok D., Frederiksen K., Thabane L., Buckley N. Reliability of infrared thermometric measurements of skin temperature in the hand. J Hand Ther 2012; 25(4): 358–362.

16. Orlov I.Ya., Afanas'ev A.V., Nikiforov I.A. High-precision radiometer of infrared radiation. Automation Remote Control 2011; 72(4): 345–349.

17. Орлов П.И., Афанасьев А.В., Никифоров И.А., Орлов И.Я., Терентьев И.Г. Модуляционный радиометр инфракрасного излучения. Патент РФ №2.345.333. 2009.

References

1. Panova I.E., Prokop'eva M.Yu., Kinzerskiy A.Yu., Ermak E.M. Issledovanie khorioidal'nogo krovotoka u patsientov s nachal'noy stadiyey vozrastnoy makulyarnoy distrofii. V kn.: *Trudy Vserossiyskoy konferentsii «Eroshevskie chteniya»* [The study of choroidal blood flow in patients with early age-related macular degeneration. In: Proceedings of Russian conference "Eroshevsky readings"]. Samara; 2007; p. 376–378.
2. Doga A.V., Magaramov D.A., Kachalina G.F., Sergeeva E.S. Lazernoe lechenie nekotorykh zabolevaniy setchatki [Laser treatment of some retinal diseases]. *Vestn Oftal'mol — Ophthalmology Reporter* 2011; 6: 60–64.
3. Stepanov A.V., Lugovkina K.V., Dzhioeva A.V. Novye metody v diagnostike intraokulyarnoy epitelial'noy proliferatsii [New methods in the diagnostics of intraocular epithelial proliferation]. *Rossiyskiy oftal'mologicheskij zhurnal — Russian Journal of Ophthalmology* 2011; 4(2): 52–55.

4. Neroev V.V., Zaytseva O.V., Kuznetsova I.S. Analiz dannykh opticheskoy kogerentnoy tomografii u patsientov do i posle khirurgii regmatogennoy otsloyki setchatki [Analysis of optical coherence tomography findings in patients before and after the surgery of rhegmatogenous retinal detachment]. *Rossiyskiy oftal'mologicheskiy zhurnal — Russian Journal of Ophthalmology* 2012; 5(4): 57–62.

5. Il'yukhin O.E., Kumar L.A. Termograficheskiy analiz koaksial'noy, mikrokoaksial'noy i bimanual'noy fakoemul'sifikatsii [Thermographic analysis of coaxial, micro-coaxial and bimanual phacoemulsification]. *Rossiyskiy oftal'mologicheskiy zhurnal — Russian Journal of Ophthalmology* 2010; 3(1): 8–12.

6. Afanas'ev A.V., Afanas'eva O.A., Mazunin I.Yu., Orlov P.I. Kontrol' metodami IK i SVCh radiometrii protsessov ustanovleniya termodinamicheskogo ravnovesiya v biologicheskikh tkanyakh [Infrared and microwave radiometry control of the processes of thermodynamic balance in biological tissues]. *Vestnik Nizhegorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo — Herald of Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky* 2005; 2(3).

7. Smetankin I.G. Vozmozhnosti metoda distantsionnoy infrakrasnoy radiopimetrii pri opredelenii temperatury rogovichnoy rany vo vremya fakoemul'sifikatsii katarakty [The possibilities of remote infrared radiopyrometry in corneal wound temperature determination during cataract phacoemulsification]. *Vestn Oftal'mol — Ophthalmology Reporter* 2009; 5: 12–14.

8. Orlov P.I. Infrakrasnaya radiotermometriya v differentsial'noy diagnostike distroficheskikh i vospalitel'nykh zabolevaniy perednego otdela glaza [Infrared radiothermometry in differential diagnosis of dystrophic and inflammatory diseases of the anterior chamber of eye]. *Vestn Oftal'mol — Ophthalmology Reporter* 2008; 2: 19–22.

9. Verkruysse W., Jia W., Franco W., Milner T.E., Nelson J.S. Infrared measurement of human skin temperature to predict the individual maximum safe radiant exposure (IMSRE). *Lasers Surg Med* 2007 Dec; 39(10): 757–766.

10. Plaghki L., Mouraux A. How do we selectively activate skin nociceptors with a high power infrared laser? Physiology and biophysics of laser stimulation. *Clinical Neurophysiology* 2003; 33(6): 269–277.

11. Leandri M., Saturno M., Spadavecchia L., Iannetti G.D., Cruccu G., Truini A. Measurement of skin temperature after infrared laser stimulation. *Neurophysiol Clin* 2006; 36(4): 207–218.

12. Yan J.F., Liu J., Zhou Y.X. Infrared image to evaluate the selective directional freezing due to localized injection of thermally important solutions. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2005; 4: 3559–3562.

13. Armstrong D.G., Holtz-Neiderer K., Wendel C., Mohler M.J., Kimbriel H.R., Lavery L.A. Skin temperature monitoring reduces the risk for diabetic foot ulceration in high-risk patients. *Am J Med* 2007 Dec; 120(12): 1042–1046.

14. Sayre E.K., Kelechi T.J., Neal D. Sudden increase in skin temperature predicts venous ulcers: a case study. *J Vasc Nurs* 2007 Sep; 25(3): 46–50.

15. Packham T.L., Fok D., Frederiksen K., Thabane L., Buckley N. Reliability of infrared thermometric measurements of skin temperature in the hand. *J Hand Ther* 2012; 25(4): 358–362.

16. Orlov I.Ya., Afanas'ev A.V., Nikiforov I.A. High-precision radiometer of infrared radiation. *Automation Remote Control* 2011; 72(4): 345–349.

17. Orlov P.I., Afanas'ev A.V., Nikiforov I.A., Orlov I.Ya., Terentiev I.G. *Modulyatsionnyy radiometr infrakrasnogo izlucheniya* [Switched infrared radiometer]. Patent RF No.2.345.333. 2009.