

## ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 617.007; 617.721; 612.014

### ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОЙ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ В ОФТАЛЬМОЛОГИИ

<sup>1)</sup>Котовский В. И., <sup>2)</sup>Дунаевский В. И., <sup>1)</sup>Коваленко Н. Н., <sup>2)</sup>Венгер Е. Ф., <sup>1)</sup>Назарчук С. С.

<sup>1)</sup>Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

<sup>2)</sup>Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарева НАНУ, г. Киев, Украина  
kotovsk@kpi.ua

*В работе приводятся результаты исследования возможности применения дистанционной инфракрасной термографии для диагностики глазных заболеваний, связанных с травмами различного происхождения. Показано, что использование термографии позволяет выявлять изменения на склере глаз, оценивать эффективность проводимого лечения. Травмы глаз впоследствии становятся одной из причин таких тяжелых заболеваний как глаукома, снижение остроты зрения, а также являются одной из причин головных болей. Термография позволяет в динамике наблюдать изменения, связанные с травмами, на протяжении длительного периода времени без ущерба для здоровья пациентов.*

**Ключевые слова:** термограф, дистанционная инфракрасная термография, глазные болезни, травмы глаз.

#### Вступлення

Инфракрасная термография (ИКТ) в настоящее время является эффективным инструментальным методом оценки продукции тепла в тканях организма [1-9]. Анализ распределения тепла на поверхности кожного покрова (КП) дает возможность определять наличие патологического очага и оценивать его динамику в ходе терапевтического воздействия.

Изучение особенностей инфракрасного (ИК) излучения биологических объектов (БО) открывает ряд областей их практического применения. Известно [2], что при комнатной температуре или температуре комфорта (21°C – 23°C), тепловые потери с поверхности КП человека находящегося в состоянии покоя происходят на 45% за счет ИК излучения, на 25% – за счет испарения и на 30% – за счет конвекции. Человеческий организм излучает тепловую энергию в ИК диапазоне длин волн от 3 мкм до 20 мкм, с максимумом излучения около 10 мкм, что дает возможность визуализировать это излучение с помощью современных термографов что и обуславливает широкое использование в медицинской практике метода ИКТ [2]. Этот метод очень эффективен при диагностике челюстно-лицевых патологий [3], заболеваний офтальмологического характера [1,4-7], заболеваний молочных желез [9] и т. д., поскольку не требует непосредственного контакта с БО в отличие от контактного или другого метода диагностики.

Метод ИКТ позволяет дистанционно без применения датчиков проводить измерения температуры в любой точке на поверхности БО, что особенно актуально при измерении температуры глазного яблока.

Использование различных градиентов температур, а именно: градиент зоны интересов-окружающие ткани, градиент термоасиметрии, продольные градиенты позволяет оценить состояние органов и организма БО.

Авторы [1] применили метод ИКТ для обследования пациентов с синдромом «сухого глаза» – патологии, которая характеризуется нарушением продукции слезной жидкости.

В работе [4] авторы использовали указанный выше метод для анализа зрачковых реакций при диагностике первичной открытоугольной глаукомы.

В результате исследований установлено, что значения температуры в области открытой глазной щели при указанной патологии хорошо коррелируют с показателями гемодинамики в центральной артерии сетчатки и задних коротких цилиарных артериях, что позволяет использовать этот дистанционный метод для мониторинга состояния органов зрения.

Возможности ИКТ в диагностике злокачественных образований опухолей глаза и орбиты продемонстрированы в работе [5]. Получены предварительные результаты по выявлению поражения глазного яблока в результате полученных травм [8].

Метод ИКТ авторы [1] использовали для оценки эффективности проводимых лечебных процедур. Было установлено, что критерием эффективного лечения при злокачественных опухолях является снижение температуры и уменьшение площади гипертермии.

Кроме различных патологических состояний органов зрения, включая злокачественные проявления, многие заболевания глаз связаны с теми или иными травмами, последствия от которых проявляются, как правило, в пожилом возрасте. Поэтому научный и практический интерес представляют исследования термограмм пациентов в ИК-диапазоне, которые получили различные травмы органов зрения.

### **Постановка задачи**

Физиологической основой термографии является увеличение интенсивности теплового излучения над патологическими зонами, вызванное усилением кровотока или уменьшение его интенсивности в зонах с ослабленным региональным кровотоком, что количественно отражается в решающих правилах в виде градиента температуры  $\Delta T$  (разница температуры между эпицентром термоаномальной зоны и прилегающей областью, или между симметричными зонами).

Наличие патологического процесса характеризуется одним из трех качественных термографических признаков [1-3]:

- появление термоаномальных зон гипер- или гипотермии;
- изменение нормальной термотопографии сосудистого русла;
- изменение градиента температуры в исследуемой зоне.

Критериями отсутствия патологических изменений являются:

- симметричность теплового рисунка (правая и левая сторона);
- характер распределения температуры;

- отсутствие участков явной гипертермии.

Интерпретация термограмм, на первый взгляд, кажется простой задачей, но на характер тепловой картины оказывают влияние многие факторы – от особенностей кровообращения, до возраста обследуемого.

Известно [2], что разность температур между симметричными областями в норме не превышает  $0,4^{\circ}\text{C}$ , а температура орбитальной области может варьировать от  $20^{\circ}\text{C}$  до  $34^{\circ}\text{C}$ . Но у каждого человека распределение температуры индивидуально и усредненной нормы при количественной оценке термограмм не существует. Поэтому правильная интерпретация тепловой картины и описание первичного диагноза с возможным прогнозом, требуют от врача-термолога кроме знаний, еще и высоких профессиональных навыков, что иногда граничит с искусством.

### **Материал и полученные результаты**

Термографическая съемка пациентов и оценка тяжести полученных ими травм органов зрения проводились одновременно с выполнением диагностики основных заболеваний.

В исследованиях был использован ИК термограф совместного производства Института физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, Института монокристаллов НАН Украины и фирмы "Электрон-Оптроник" (Россия) с охлаждаемой матрицей размером  $320 \times 280$  элементов на базе диодов Шоттки, с температурной чувствительностью не хуже  $0,07^{\circ}\text{C}$  и спектральным диапазоном 3-5 мкм.

Обследование прошла группа добровольцев разного пола, ранее перенесших различные бытовые травмы глаз и травмы, связанные с дорожно-транспортными происшествиями (ДТП). Исследования выполнялись по разработанной методике, описанной в работе [2]. На рис. 1–6 представлены наиболее характерные термограммы обследуемых с различными патологиями органов зрения.

Термограмма пациентки К. (30 лет) с гипертермическим включением в склере правого глаза представлена на рис. 1. Гипертермическое образование произошло вследствие попадания капли кипящего жира в процессе приготовления пищи. Градиент температуры составляет  $\Delta T = +2,77^{\circ}\text{C}$ .

Наблюдается также гипертермия левого глаза, выявленная в процессе обследования. Обнаружено увеличение температуры в области склеры левого глаза:  $\Delta T = +(0,54-0,67)^{\circ}\text{C}$ . Пациентка нуждается в постоянном наблюдении для своевременного выявления возможных изменений в органах зрения.

На рис. 2 представлена термограмма пациента Ж. (65 лет) с гипертермией в области левого глаза. Температура в области склеры левого глаза (указано стрелкой) на  $1,67^{\circ}\text{C}$  выше температуры в области склеры правого глаза. При обследовании выяснилось, что пациент в детстве получил травму глаза, вследствие попадания осколка камня. Имело место повреждение сосудов глаза, что явилось одной из причин глаукомы в пожилом возрасте.

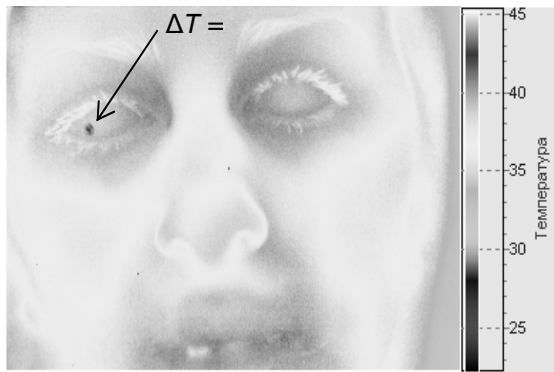


Рис. 1. Гипертермическое включение в склере правого глаза

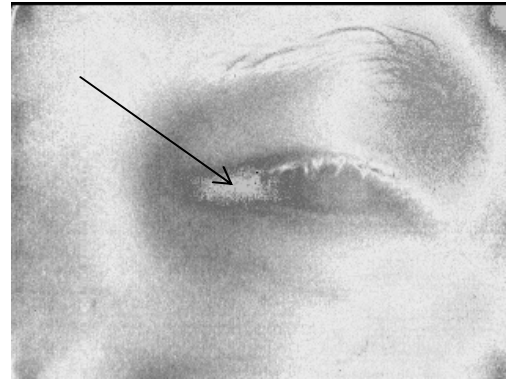


Рис. 2. Гипертермия в области левого глаза

Термограмма пациента С. (66 лет) с травмой в области левого глаза (указано стрелкой), полученной в результате ДТП представлена на рисунке 3. Вследствие полученной закрытой черепно-мозговой травмы имела место контузия глаза, что привело в последствии к снижению остроты зрения и периодическим головным болям.

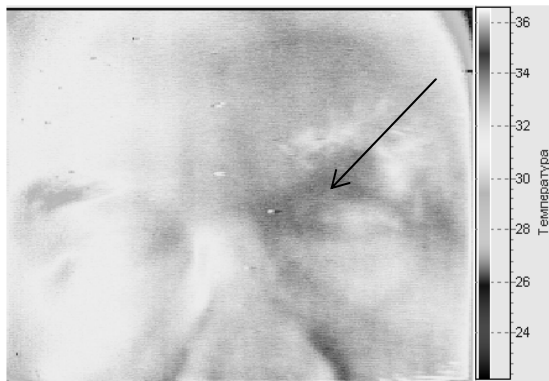


Рис. 3. Травма в области левого глаза в результате ДТП

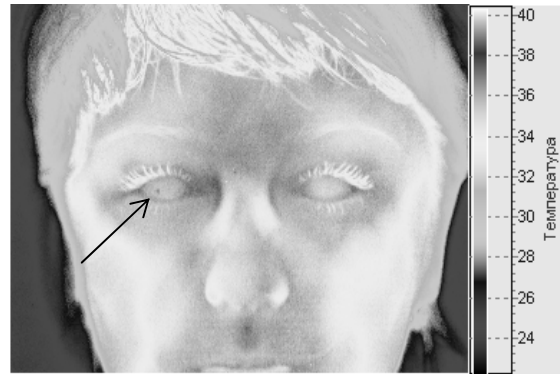


Рис. 4. Последствия травмы в области склеры правого глаза

На рис. 4 представлена термограмма пациентки Н. (21 год) с перенесенной травмой в области склеры правого глаза (повреждение веткой дерева).

Впоследствии наблюдалось ухудшение зрения. Термографически выявлено увеличение температуры правого глазного яблока на  $0,76^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 5 представлена термограмма пациента Ц. (64 года) с ангиопатией сетчатки. Ранее пациент перенес травму в области левого глаза.

Термограмма пациентки Г. (23 года) после перенесенной закрытой черепно-мозговой травмы в результате падения представлена на рис. 6. Наблюдается гипертермия в лобной области, а также гипертермические изменения в области правого и левого глаза. Внутриглазное давление в правом глазу составляет 24-25 мм. рт. ст. по Маклакову, в левом – 22-23 мм. рт. ст.

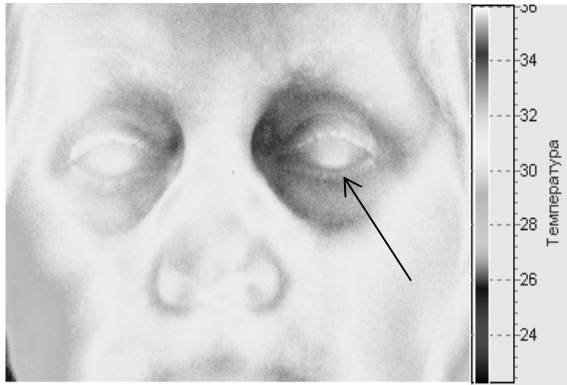


Рис. 5. Ангиопатія сітчатки лівого  
оку

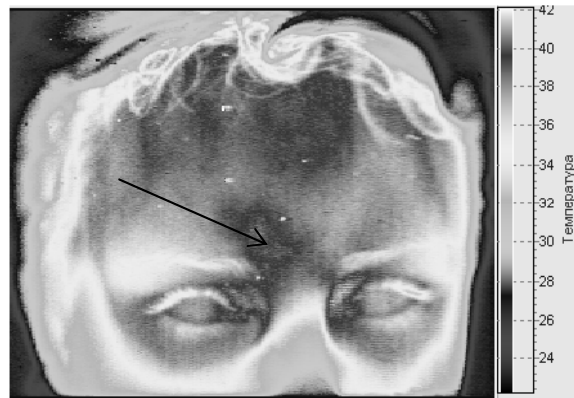


Рис. 6. Гіпертермія в лобній області

### Выводы

Дистанційна інфрачервона термографія дозволяє оцінювати ступінь тяжкості отриманих травм органів зору по величині градієнта температури  $\Delta T$  як одного з головних термографічних ознак.

Изученный анамнез захворювань пацієнтів показує, що травматичні пошкодження органів зору можуть призводити до таких важких захворювань як глаукома, зниженню гостроти зору, головним болям.

При формулюванні висновку важливо врахувати, що в даний час при використанні методу ІКТ можуть бути отримані як хибнопозитивні, так і хибнонегативні результати, що означає важливість продовження досліджень з використанням цього інформативного і абсолютно неінвазивного методу діагностики.

### Литература

1. Kamao T. Screening for dry eye with newly developed ocular surface thermograph / T. Kamao, M. Yamaguchi, Sh. Kawasaki, et al // Am. J. Ophthalmol. – 2011. – Vol.151. – P.782–791.
2. Розенфельд Л. Г. Дистанційний інфрачервоний термограф з матричним фотоприймачем та досвід його використання у клінічній лікарні / Л.Г. Розенфельд, Є. Ф. Венгер, Т. В. Лобода, А. В. Самохін, М. М. Колотілов, О. Г. Коллюх, В. І. Дунаєвський, В. О. Кравченко // Укр. радіолог. журнал. – 2006. – № 4. – С. 450 – 456.
3. Тимофеев А. А. Дистанційна інфрачервона термодіагностика при захворюваннях челюстно-лицьової області / А. А. Тимофеев, І. Б. Киндрась, Є. Ф. Венгер, А. Г. Коллюх, В. І. Дунаєвський, В. І. Котовський // Електроніка і зв'язь. – 2009. – Тем. випуск "Електроніка і нанотехнології", ч. 2. – С. 236 – 240.
4. Лопатинская Н. Р. Дистанційна термографія і аналіз зрачкових реакцій в діагностиці первинної відкритоугольної глаукоми / Н. Р. Лопатинская, Т. Г. Каменских, Д. А. Усанов і др. // Саратовський науково-медичний журнал. – 2012. – Т. 8. – № 2. – С. 266 – 270.
5. Пантелеева О. Г. Комп'ютерна термографія в діагностиці злоякісних образів очей і орбіти // Російський медичний журнал. – 2001. – Т. 2. – № 1. – С. 346–349.
6. Іваницький Г. Р. Особливості температурних розподілів в області очей / Г. Р. Іваницький, А. А. Деев, І. Б. Крестьєва і др. // Доклади РАН. – 2004. – Т. 395. – № 5. – С. 240 – 245.
7. Іваницький Г. Р. Тепловідення в медицині // Вестник російської академії наук. – 2006. – Т. 76. – № 1. – С.48 – 62.

8. Коваленко Н. Н. Возможности современной термографии в диагностике травм органов зрения / Н. Н. Коваленко, В. И. Дунаевский, В. И. Котовский, Е. Ф. Венгер, С. С. Назарчук // Матеріали ІХ Міжнародної конференції "Актуальні питання біологічної фізики та хімії". – Севастополь. – 2013. – С. 28 – 29.
9. Ковальчук И. С. Возможности дистанционной инфракрасной термографии в диагностике заболеваний молочных желез / И. С. Ковальчук, В. И. Дунаевский, Е. Ф. Венгер, В. И. Котовский, С. С. Назарчук // Укр. медичний часопис. – 2013. – № 3. – С. 165 – 169.

Надійшла до редакції  
04 червня 2014 року

©Котовский В. И., Дунаевский В. И., Коваленко Н. Н., Венгер Е. Ф., Назарчук С. С., 2014

УДК 621.384.6: 539.1.07: 539.1.047

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК «МАЛИХ» ПОЛІВ ОПРОМІНЕННЯ У ПРОМЕНЕВІЙ ТЕРАПІЇ

<sup>1, 2)</sup>Овсієнко О. В.

<sup>1)</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна

<sup>2)</sup>Київський міський клінічний онкологічний центр, Центр ядерної медицини, м. Київ, Україна  
[ooov1@i.ua](mailto:ooov1@i.ua)

З поширенням променевої терапії для лікування онкозахворювань та більш ефективного лікування з'являються нові вдосконалені технології, такі як променева терапія з модульованою інтенсивністю, об'ємна дугова терапія та стереотаксична радіохірургія. Всі ці методики дозволяють підводити дозу «малими» полями опромінення з розмірами менше  $3 \times 3 \text{ см}^2$ , коли досягається гомогенний розподіл дози по всій пухлині та максимально зберігають критичні органи

В роботі експериментально досліджено «малі» поля опромінення та визначено типи детекторів, що забезпечують найкращу точність вимірювань при різних енергіях фотонів.

**Ключові слова:** «малі» поля опромінення, детектори, променева терапія з модульованою інтенсивністю (IMRT), об'ємна дугова терапія (ОДТ), стереотаксична радіохірургія (СРХ).

### Вступ та постановка завдання

З появою нових технологій променевої терапії, таких як IMRT (променева терапія з модульованою інтенсивністю), VMAT (об'ємна дугова терапія), SRS (стереотаксична радіохірургія), з'явилася необхідність використання «малих» полів опромінення. Поняття «малих» полів опромінення залишається відкритим та не має чіткого визначення. У роботі [1] автори визначають, що поля, які в перетині менші  $3 \times 3 \text{ см}^2$  знаходяться за межами традиційних лікувальних променів та потребують особливої уваги, як у вимірюванні дози так і в її розрахунку.

Також автори роботи [1] поділяють детектори на три типи в залежності від чутливого об'єму: 1) стандартні детектори (чутливий об'єм  $\sim 10^{-1} \text{ см}^3$ ), міні – детектори ( $\sim 10^{-2} \text{ см}^3$ ) та мікродетектори ( $\sim 10^{-3} \text{ см}^3$ ). Для дозиметрії «малих» полів опромінення придатні мікродетектори, але в деяких випадках можна використовувати і міні-детектори. Зараз використовуються в основному «міні – іонізаційні» камери, діодні детектори, алмазні детектори, радіохромні плівки. Найкращим за своїми показниками є алмазний детектор, але складність його виготовлення робить його дуже дорогим. В Україні даного детектора немає в жодному медичному закладі, який займається дозиметрією апаратів для променевої терапії. В