

*Joanna Mokrzecka, Marta Pietruszyńska, Irmína Jankowska, Iwona Grabska-Liberek

Termografia w okulistyce – pomiar temperatury powierzchni oka

Infrared thermography in the field of ophtalmology – measurement of ocular surface temperature

Klinika Okulistyki, Centrum Medyczne Kształcenia Podyplomowego,
Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny im. prof. W. Orłowskiego, Warszawa
Kierownik Kliniki: prof. dr hab. med. Iwona Grabska-Liberek

Słowa kluczowe

termografia, termogram, temperatura
powierzchni oka

Keywords

thermography, thermogram, ocular surface
temperature

Konflikt interesów

Conflict of interest

Brak konfliktu interesów
None

Adres/address:

*Joanna Mokrzecka
Klinika Okulistyki CMKP
SPSK im. prof. W. Orłowskiego
ul. Czerniakowska 231, 00-416 Warszawa
tel./fax +48 (22) 584-11-85
kl.okulistyki@szpital-orlowskiego.pl

Streszczenie

Termografia, zaliczana do technik diagnostyki obrazowej, wykorzystuje kamery termowizyjne do rejestracji promieniowania ciepłego emitowanego przez obiekty. Jako metoda całkowicie bezinwazyjna, bezpieczna zarówno dla osoby badanej, jak i badacza znajduje coraz to szersze zastosowanie w medycynie, w tym również okulistyce. Poniższy artykuł prezentuje pokrótce metodę termografii oraz możliwe zastosowania termografii w dziedzinie okulistyki na przykładzie wybranych publikacji.

Summary

Thermography is an imaging procedure used to record the thermal patterns using infrared camera. As a noninvasive method, safe both for examiner and examined person is widely used in medicine including also ophtalmology. The following article presents the main methodology and possible use of IR thermography in the field of ophtalmology based on selected publications.

WSTĘP

Od dawna wiadomo, że temperatura żywego organizmu jest istotnym wskaźnikiem oceny jego stanu biologicznego, a jej zmiany mogą świadczyć o istniejącej patologii. Historia pomiaru temperatury ciała jako metody diagnostycznej sięga już czasów starożytnych, gdzie pierwsze próby pomiarów podejmował Hipokrates w 400 r. p.n.e., obserwując wysychanie mokrej gliny nałożonej na ciało pacjenta. Ilościowy pomiar temperatury był jednak możliwy dopiero w XVI wieku po wynalezieniu przez Galileusza urządzenia zwanego termoskopem. Kolejnym krokiem milowym było wprowadzenie do użytku powszechnego termometru rtęciowego, do niedawna szeroko stosowanego na całym świecie. Postęp nauki i techniki zaowocował wynalezieniem nowoczesnych metod pomiaru temperatury, do których zaliczamy technikę termografii.

TERMOGRAFIA

Termografia to nieinwazyjna i bezkontaktowa metoda obrazowania, umożliwiająca monitorowanie w cza-

sie rzeczywistym zmian fizjologicznych oraz procesów metabolicznych poprzez pomiar rozkładu temperatury na badanej powierzchni. Emitowane przez badany obiekt promieniowanie ciepłe (w paśmie podczerwieni) rejestrowane jest m.in. przez kamerę termowizyjną, a następnie przedstawiane za pomocą termogramu, najczęściej w postaci obrazu w skali szarości bądź modelu barwnego – RGB (ang. *red, green, blue*).

Termowizja, początkowo wykorzystywana w budownictwie, przemyśle oraz celach wojskowych, została wprowadzona do współczesnej medycyny przez kanadyjskiego lekarza Lawsons w latach 50. XX wieku, jako metoda służąca do diagnostyki oraz monitorowania zmian w przebiegu raka sutka (1, 2). Udoskonalana przez ponad ostatnie 50 lat metoda termografii obecnie wykorzystywana jest m.in. w kardiochirurgii (ocena ukrwienia w trakcie operacji na otwartym sercu), dermatologii (ocena aktywności zmian łuszczykowych), alergologii (diagnostyka alergii skórnych i wziewnych), reumatologii (ocena obecności oraz stopnia nasilenia stanu zapalnego), onkologii, a także

w okulistyce (diagnostyka chorób oczu, ocena metod chirurgicznych).

Przed zastosowaniem metody termowizji, pomiar temperatury powierzchni oka wymagał bezpośredniego kontaktu ostro zakończonej końcówki pomiarowej (tzw. *needle probe*) z powierzchnią rogówki. Była to nie tylko metoda inwazyjna i niekomfortowa dla pacjenta, ale też obarczona znacznym błędem – pomiar wymagał użycia miejscowego środka znieczulającego, który powodował obniżenie temperatury, natomiast samo ukłucie indukowało wzrost przepływu krwi, a tym samym wzrost temperatury nawet o 6°C. Metoda termowizji wprowadzona do okulistyki przez angielskiego okulistę Mapstona w 1968 roku umożliwiła nieinwazyjny, szybki oraz dokładny odczyt temperatury z powierzchni oka, która stała się głównym obiektem zainteresowania badaczy.

ZASADY TERMOGRAFII LUDZKIEGO OKA

Podstawą fizyczną termografii jest teoria ciała doskonale czarnego, zgodnie z którą każde ciało o temperaturze wyższej od zera absolutnego (-273,15°C) emituje promieniowanie cieplne, a jego całkowitą moc przedstawia równanie:

$$(I) T = \varepsilon \sigma T^4$$

gdzie σ – stała Stefana-Boltzmanna, ε – współczynnik emisji (określa energię wypromieniowaną przez dane ciało w stosunku do ciała idealnie czarnego o tej samej temperaturze, a jego wartość zależy od struktury powierzchni emitującej; dla tkanki biologicznej $\varepsilon = 0,97-0,98$).

W przeprowadzonych przez Hartridge'a i Hilla oraz Mapstone'a obserwacjach zauważono, że tkanki oka, ze względu na dużą zawartość wody, zachowują się w przybliżeniu jak ciała doskonale czarne, co oznacza, że fale emitowane przez tkanki położone głębiej są całkowicie absorbowane przez tkanki położone bardziej powierzchniowo (3, 4). W kolejnych badaniach stwierdzono, że jeśli grubość filmu łzowego wyniesie 40 μm lub więcej, to transmisja promieniowania będzie bliska 0. Oznacza to, że rogówka nie będzie mieć wpływu na wielkość mierzonego promieniowania, a mierzona temperatura będzie w istocie temperaturą filmu łzowego (5). Purslow i Wolffsohn w swojej publikacji potwierdzają, że temperatura powierzchni oka zależy w głównej mierze od stabilności filmu łzowego, a nie od takich czynników jak grubość, krzywizna rogówki czy głębokość komory przedniej (6).

METODY POMIARÓW TEMPERATURY POWIERZCHNI OKA

Termogram przedstawiający wartości oraz rozłożenie temperatury powierzchni oka może być zaprezentowany w postaci obrazu w skali szarości bądź modelu barwnego – RGB. Mimo że model RGB lepiej wizualizuje rozkład temperatury badanej powierzchni, termogram w skali szarości jest bardziej użyteczny do wykonania pomiarów ilościowych.

Manualne sposoby pomiaru

Efron i wsp. w swoich badaniach dokonywali pomiaru w 11 punktach rozmieszczonych od siebie w odległości 0,5 mm wzdłuż poziomej linii przechodzącej przez geometryczne centrum rogówki (7). Inny sposób pomiaru zastosowali Morgan i wsp., którzy wykreślili 5 pól o powierzchni ok. 1 mm² wzdłuż poziomej linii przechodzącej przez ustalony środek rogówki, odpowiednio w centrum rogówki, w rąbku od strony nosa i od strony skroni oraz na spojówce 2 mm od rąbka (8-10). Metodologia pomiaru w badaniach Galassiego i wsp. przedstawia 5 punktów wykreślonych na poziomej linii przebiegającej przez centrum rogówki w miejscach: 1 – kąt przyśrodkowy, 2 – w połowie odległości pomiędzy kątem wewnętrznym a rąbkiem od strony nosa, 3 – centrum rogówki, 4 – w połowie odległości pomiędzy rąbkiem od strony skroni a kątem zewnętrznym, 5 – kąt zewnętrzny (11, 12). W kolejnych przeprowadzonych badaniach ilość, rozmieszczenie, powierzchnia oraz kształt obszaru pomiarowego różnią się od przedstawionych przykładów w zależności od badacza.

Półautomatyczne i automatyczne sposoby pomiaru

Dua i wsp. wykorzystali w swoich badaniach półautomatyczną metodę oceny temperatury powierzchni oka. Termogram w postaci pliku jpg przed zastosowaniem algorytmu wykrywającego pozycję rogówki musiał być manualnie „przycięty” przez badającego do prostokątnego obszaru obejmującego obraz oka o standardowym wymiarze 400 x 200 pikseli. Algorytm „SNAKE” z funkcją śledzenia celu wprowadzony przez Tan'a umożliwił lokalizację oka i rogówki na termogramie w sposób całkowicie zautomatyzowany (13).

ZASTOSOWANIE TERMOGRAFII W BADANIACH KLINICZNYCH

Od czasu wprowadzenia termografii do okulistyki w latach 50. XX wieku przeprowadzono liczne badania wykorzystujące metodę termowizji do oceny fizjologii i patofizjologii oka, diagnostyki chorób oczu czy oceny metod chirurgicznych.

W swoich badaniach Mapstone określił średnią temperaturę rogówki zdrowego oka na 34,8°C (32,2-36,0°C) oraz przedstawił i poddał ocenie czynniki mające wpływ na temperaturę powierzchni oka, takie jak: temperatura otoczenia, zamknięcie oraz otwarcie powiek, mruganie, film łzowy, zapalenie przedniego odcinka błony naczyniowej, stenozą tętnicy szyjnej, nowotwory tylnego odcinka oka (4, 14).

W badaniu przeprowadzonym przez Efrona i wsp. poddano dokładnej ocenie rozłożenie izoterm na powierzchni zdrowych oczu, stwierdzając, że średnia różnica pomiędzy geometrycznym środkiem rogówki a rąbkiem wynosi 0,45°C (7). Kilka lat później Morgan i wsp. w swoich badaniach zauważyli, że u 95% badanych zdrowych oczu różnica pomiędzy temperaturą centrum rogówki między okiem prawym a lewym wynosi 0,6°C lub mniej (8). Doniesienia z literatury jednoznacznie wskazują, że istnieje negatywna kore-

lacja pomiędzy temperaturą powierzchni oka a wiekiem (15, 16), natomiast nie zaobserwowano istotnych różnic w odniesieniu do płci czy rasy (8, 16). Na wartości temperatury powierzchni oka ma natomiast wpływ temperatura otoczenia, gdzie wzrost temperatury środowiska o 1°C powoduje wzrost temperatury powierzchni oka o 0,15-0,2°C (14, 17) oraz temperatura ciała (8, 14, 18). Zauważono również, że temperatura powierzchni oka zmienia się w ciągu dnia, nawet jeśli temperatura otoczenia jest stała, co tłumaczone jest dobowymi wahaniami temperatury ciała (19).

Poza określeniem wzorca termogramu zdrowego oka, zaczęto poszukiwać możliwości dla termografii jako badania diagnostycznego w chorobach oczu. Głównym

tematem zainteresowania badaczy stały się patologie dotyczące przedniego odcinka oka, takie jak zespół suchego oka (ZSO) czy stany o etiologii zapalnej. Badania z użyciem termografii przeprowadzono również w diagnostyce chorób, takich jak: zakrzep żyły środkowej siatkówki (ang. *central retinal vein occlusion* – CRVO), retinopatia cukrzycowa, jaskra, orbitopatia związana z chorobą Gravesa-Basedowa, nowotwory czy stenoza aortalna. Wykonując pomiary termograficzne, poddano również ocenie metody chirurgiczne, w tym operacje przeciwiwaskrowe, techniki fakoemulsyfikacji czy keratektomii.

W tabeli 1 przedstawiono wybrane z literatury, przeprowadzone badania w dziedzinie okulistyki z wykorzystaniem termografii.

Tab. 1. Zestawienie wybranych badań w dziedzinie okulistyki z wykorzystaniem metody termografii

Badanie	Cel i metody	Wynik badania i wnioski
Morgan i wsp. (9, 10)	Porównanie temperatury powierzchni oka u 36 osób z ZSO i 27 pacjentów z grupy kontrolnej. Ocena przydatności badania termograficznego w diagnostyce stenozy tętnicy szyjnej. W grupie 24 asymptomatycznych pacjentów ze zdiagnozowaną stenozą tętnicy szyjnej wykonano pomiar temperatury powierzchni rogówki oraz badanie USG Doppler tętnicy szyjnej.	Średnia temperatura powierzchni rogówki jest wyższa u osób z ZSO ($32,38^{\circ}\text{C} \pm 0,69$) w porównaniu do grupy kontrolnej ($31,94^{\circ}\text{C} \pm 0,54$); u osób z ZSO różnica temperatury pomiędzy rąbkami a centrum rogówki jest większa niż w grupie kontrolnej (9). Istnieje znacząca negatywna zależność pomiędzy temperaturą powierzchni rogówki a stopniem stenozy tętnicy szyjnej. Termografia może posłużyć jako test screeningowy oraz dodatkowe badanie w diagnostyce zwężenia tętnicy szyjnej (10).
Żelichowska i wsp. (20)	Porównanie temperatury powierzchni rogówki u 9 chorych z ZSO z grupą kontrolną (13 osób). Ocena przydatności badania termograficznego w diagnostyce ZSO.	Średnia temperatura powierzchni rogówki u chorych z ZSO jest statystycznie znacznie niższa w odniesieniu do grupy kontrolnej. Wraz z upływem czasu od chwili otwarcia oczu tempo spadku średniej temperatury powierzchni rogówki jest znacznie mniejsze u pacjentów z ZSO. Przydatność termografii w potwierdzeniu rozpoznania ZSO (20).
Galassi i wsp. (11, 12)	Porównanie temperatury powierzchni oka u pacjentów z jaskrą pierwotną otwartego kąta (JPOK) z grupą kontrolną. Znalezienie zależności pomiędzy temperaturą powierzchni oka, ciśnieniem wewnątrzgałkowym (IOP) i przepływem w tętnicach gałki ocznej u pacjentów z jaskrą. Pomiar IOP, temperatury powierzchni oka, przepływu w tętnicy ocznej, tętnicy środkowej siatkówki oraz tętnicach rzęskowych tylnych krótkich za pomocą USG Doppler u 32 pacjentów z JPOK oraz 40 pacjentów z grupy kontrolnej. Ocena wpływu operacji przeciwiwaskrowych na hemodynamikę w naczyniach gałki ocznej i temperaturę powierzchni rogówki u pacjentów z JPOK (u 22 pacjentów była wykonana sklerotomia głęboka, a u 19 trabekulektomia). Wykonano pomiary przepływu w tętnicy ocznej, tętnicy centralnej siatkówki i tętnicach rzęskowych tylnych krótkich za pomocą badania USG Doppler oraz pomiar temperatury powierzchni rogówki za pomocą termografii przed operacją i po niej.	Temperatura powierzchni oka we wszystkich punktach pomiarowych jest znacząco niższa u pacjentów z JPOK w porównaniu z grupą kontrolną. Istnieje negatywna zależność pomiędzy temperaturą powierzchni oka a wskaźnikiem oporu naczyniowego w tętnicy ocznej, tętnicy środkowej siatkówki i w tętnicach rzęskowych tylnych krótkich oraz dodatnia zależność pomiędzy objętością końcowo-rozkurczową w tętnicy ocznej i tętnicach rzęskowych tylnych krótkich. Pomiar temperatury powierzchni oka może posłużyć jako marker obniżonego przepływu w tętnicach gałki ocznej u pacjentów z JPOK (11). W 3-miesięcznej obserwacji w obu grupach pacjentów stwierdzono porównywalny wzrost końcowo-rozkurczowej objętości oraz spadek wskaźnika oporu naczyniowego we wszystkich badanych tętnicach, wzrost temperatury powierzchni rogówki oraz negatywną korelację pomiędzy temperaturą powierzchni rogówki a wskaźnikiem oporu naczyniowego w tętnicy ocznej. Głęboka sklerotomia i trabekulektomia mają porównywalny wpływ na poprawę krążenia pozagałkowego. Termografia oraz badanie USG Doppler mogą być użyteczne w ocenie poprawy krążenia pozagałkowego po operacjach przeciwiwaskrowych (12).
Sodi i wsp. (21, 22)	Porównanie temperatury powierzchni oka u 36 pacjentów z CRVO i 54 pacjentów z grupy kontrolnej. Porównanie temperatury powierzchni oka u 51 pacjentów z nieproliferującą retinopatią cukrzycową i 53 pacjentów z grupy kontrolnej.	U pacjentów z CRVO w porównaniu do grupy kontrolnej temperatura powierzchni rogówki jest niższa we wszystkich 5 punktach pomiarowych, ale jedynie w centrum rogówki różnica jest statystycznie znamienna. Temperatura powierzchni oka jest niższa w oczach z postacią niedokrwinną CRVO niż w postaci bez niedokrwienia. Termografia może być pomocna w prowadzeniu u pacjentów z CRVO (21). U osób z nieproliferacyjną retinopatią cukrzycową temperatura powierzchni rogówki była znacząco niższa we wszystkich punktach pomiarowych w porównaniu z grupą kontrolną. Pomiary temperatury powierzchni oka, oceniając przepływ w naczyniach gałki ocznej, mogą być pomocne w prowadzeniu pacjentów z retinopatią cukrzycową (22).
Shih i wsp. (23)	Pomiar temperatury w wybranych punktach powierzchni oka oraz okolicy okołogałkowej u 46 pacjentów z orbitopatią w przebiegu choroby Gravesa-Basedowa przed podaniem i po podaniu dożylnym pulsów metyloprednizolonu. Ocenie poddano również: wytrzeszcz i ruchomość gałek ocznych, dwojenie, aktywność stanu zapalnego według skali CAS.	Temperatura powierzchni oka u osób z orbitopatią tarczycową jest obiektywnym wskaźnikiem aktywności choroby i obniża się po zastosowaniu terapii metyloprednizolonem. Połączenie skali CAS (Clinical Activity Score) z pomiarem temperatury powierzchni oka może mieć lepsze znaczenie prognostyczne niż sama skala CAS w terapii pulsami metyloprednizolonem (23).

C.D. Tab. 1.

Kawali (24)	Pomiar i porównanie temperatury powierzchni oka u 7 pacjentów z patologią przedniego odcinka oka o etiologii zapalnej, 2 o etiologii niezapalnej i 1 zdrowym.	U pacjentów z zapaleniem twardówki i pooperacyjnym zapaleniem naczyńówki stwierdzono podwyższone wartości temperatury powierzchni oka w porównaniu do oka zdrowego. W przypadku łagodnego rozrostu limfoidalnego spojówki i centralnej surowiczej chorioretinopatii zanotowano obniżenie wartości temperatury powierzchni oka w porównaniu do oka zdrowego. W obuocznym zapaleniu rogówki związanym z dysfunkcją gruczołów Meiboma wartości temperatury powierzchni oka były niższe w oku z bardziej nasilonymi klinicznie objawami. Termografia może być użyteczna w różnicowaniu zapalnych i niezapalnych patologii przedniego odcinka (24).
Hara i wsp. (25)	U 13 asymptomatycznych pacjentów z rozpoznaniem sezonowego zapalenia spojówek na 10 min przed podaniem czynnika alergizującego do worka spojówkowego do jednego oka podano 0,025% roztwór lewokabastyny, a do drugiego „sztuczne łzy”. Wykonano pomiar temperatury powierzchni oka przed podaniem i 30 min po podaniu alergenu. Przeprowadzono również badanie w lampie szczelinowej.	W oczach, w których zastosowano alergen z poprzedzającym podaniem sztucznych łez, doszło do znacznego wzrostu temperatury o $0,67^{\circ}\text{C} \pm 0,10$ w porównaniu do oczu z poprzedzającym podaniem leku antyhistaminowego (lewokabastyny) – $0,21^{\circ}\text{C} \pm 0,06$. Ze względu na znaczącą korelację pomiędzy temperaturą powierzchni rogówki a nasileniem objawów reakcji alergicznej, pomiar temperatury powierzchni oka może posłużyć jako ocena skuteczności działania miejscowych preparatów antyalergiczných (25).
Kawasaki i wsp. (26)	Określenie przydatności termografii w ocenie pęcherzyka filtracyjnego. Pomiar temperatury powierzchni pęcherzyka filtracyjnego w 39 oczach po trabekulektomii z oceną IOP oraz morfologii pęcherzyka według skali IBAG. Oczy podzielono na dwie grupy: z dobrze i słabo kontrolowanym IOP. Wprowadzono parametr TDB [spadek temperatury na powierzchni pęcherzyka = (średnia temperatura spojówki w części skroniowej i nosowej) - (temperatura pęcherzyka)].	TDB wyniósł 0,54 i $0,21^{\circ}\text{C}$ odpowiednio w grupach z dobrze i słabo kontrolowanym IOP. Różnica pomiędzy TDB w obu grupach była statystycznie istotna. Nie stwierdzono natomiast statystycznie istotnej korelacji pomiędzy TDB a oceną morfologiczną. Pomiar temperatury przy pomocy termografii sugerują, że czynny pęcherzyk filtracyjny ma niższą temperaturę niż pęcherzyk niefiltrujący. Termografia może być użyteczną metodą oceny funkcji pęcherzyka filtracyjnego (26).
Klamann i wsp. (27)	Ocena pęcherzyka filtracyjnego u 35 pacjentów po wykonanej operacji trabekulektomii przy pomocy urządzenia Tomey TG-1000. Ocena TDB (patrz wyżej) oraz TB10s-TDB po 10 s.	Różnica pomiędzy TDB oraz TB10s w grupie pacjentów z dobrze i słabo kontrolowanym IOP była statystycznie znamienna. Pomiar temperatury przy pomocy urządzenia Tomey TG-1000 jako prosta i nieinwazyjna metoda może być użyteczna w ocenie pęcherzyków filtracyjnych po zabiegu trabekulektomii (27).
Kamao i wsp. (28)	Ocena przydatności urządzenia Tomey TG-1000 w badaniu przesiewowym w ZSO. Porównanie temperatury powierzchni oka zaraz po otwarciu szpary powiekowej i po 10 s w 30 oczach z ZSO i 30 oczach z grupy kontrolnej łącznie z oceną TBUT, testem Schrimera i barwieniem fluoresceiną.	Temperatura powierzchni oka zaraz po otwarciu jest porównywalna w obu grupach pacjentów. Spadek temperatury powierzchni oka po 10 s od otwarcia jest znacznie większy w oczach z ZSO i koreluje z TBUT. Czulość testu wyniosła 83%, a specyficzność 80%. Ocena spadku temperatury powierzchni oka w 10 s po otwarciu przy pomocy nowego urządzenia Tomey TG-1000 może posłużyć jako prosty i nieinwazyjny test przesiewowy w ZSO (28).
Jun i wsp. (29)	Pomiar temperatury oraz ocena zmian tkankowych w 3 punktach (powierzchnia rogówki, nacięcia, głowicy) podczas zabiegu fakoemulsyfikacji podłużnej i skrętnej przy cięciu 2,75 i 2,20 mm. Badanie przeprowadzono na 12 ludzkich gałkach podzielonych na 4 grupy: 1. fakoemulsyfikacja podłużna, cięcie 2,75 mm; 2. fakoemulsyfikacja podłużna, cięcie 2,20 mm; 3. fakoemulsyfikacja skrętna, cięcie 2,75 mm; 4. fakoemulsyfikacja skrętna, cięcie 2,20 mm. Traumatyzacja tkanek została również oceniona za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego.	Maksymalny wzrost temperatury okolicy nacięcia był znacznie niższy przy fakoemulsyfikacji skrętnej niż przy fakoemulsyfikacji podłużnej. Wykonanie mikrocięcia nie powoduje wzrostu temperatury w znaczącym stopniu. Połączenie fakoemulsyfikacji skrętnej z mniejszym cięciem zmniejsza ryzyko traumatyzacji tkanek podczas operacji twardej zaćmy (29).
Maldonado-Codina i wsp. (30)	Ocena zmiany temperatury powierzchni oka u 19 pacjentów podczas wykonywania keratektomii fotorefrakcyjnej w zależności od wady refrakcyjnej (od -2 do -10 D) i głębokości wykonywanego zabiegu (31,1-139,7 μm).	U wszystkich 19 pacjentów zaobserwowano wzrost temperatury powierzchni rogówki. Średni wzrost temperatury wyniósł $7,35^{\circ}\text{C} \pm 1,13$ przy maksymalnym wzroście do $8,97^{\circ}\text{C}$. Wzrost temperatury był wyższy przy większej wadzie refrakcyjnej (30).
Śniegowski i wsp. (31)	Porównanie temperatury powierzchni oka pomiędzy zdrowymi fakijnymi i pseudofakijnymi pacjentami. 56 pacjentów podzielono na 3 grupy: 1. pacjenci z przezierną soczewką; 2. z zaćmą; 3. pseudofakijni.	U pacjentów pseudofakijnych zanotowano nieznacznie wyższe temperatury powierzchni oka, jednakże nie był to wynik statystycznie istotny (31).

Badania zostały przeprowadzone w odpowiednich warunkach, ażeby uniknąć wpływu czynników zewnętrznych na wyniki pomiarów, tj. pomieszczenie o odpowiedniej wielkości, zamknięte, bez przepływu powietrza ze stałą

temperaturą oraz wilgotnością powietrza. Pomiary wykonano o stałej porze dnia, a osoby poddane badaniu wchodziły do pomieszczenia na ok. 10-20 min przed rozpoczęciem pomiarów celem aklimatyzacji.

PODSUMOWANIE

Od czasu, kiedy Mapstone przedstawił swoje wyniki badań dotyczące pomiaru temperatury powierzchni oka, pojawiły się liczne publikacje na temat wykorzystania termografii w okulistyce. Pomimo że obecnie dysponujemy licznymi metodami diagnostycznymi (koherentna tomografia optyczna, konfokalna mikroskopia, topografia rogówki, tomografia komputerowa, ultrabiomikroskopia, rezonans magnetyczny), termografia dostarcza nam nowych informacji na temat fizjologii i patofizjologii oka. Bezpieczeństwo i całkowita bezinwazyjność pomiarów termograficznych sprawiają, że są one celem zainteresowań wielu badaczy.

Pomiar temperatury powierzchni oka, jej rozkład oraz możliwość rejestrowania zmian w czasie rzeczywistym są szczególnie użyteczne w ocenie dynamicznych struktur oka, takich jak film łzowy czy jego patologii w ZSO. Niższe ceny oraz większa dostępność sprzętu pomiarowego, a także wprowadzenie na rynek coraz to łatwiejszych w obsłudze i bardziej precyzyjnych urządzeń (jak np. połączenie termografu i keratografu) przyczyniają się do dalszego rozwoju termowizji w okulistyce. Jednakże, termografia jako stosunkowo nowa metoda w dziedzinie okulistyki wymaga dalszych badań, zanim znajdzie zastosowanie w codziennej praktyce klinicznej.

PIŚMIENNICTWO

1. Lawson RN: Implications of surface temperature in the diagnosis of breast cancer. *Can Med Assoc J* 1956; 75: 309-310.
2. Lawson RN: Thermography: a new tool in the investigation of breast lesion. *Can Serv Med J* 1957; 13: 517.
3. Hartridge H, Hill AV: The transmission of infra-red rays by the media of the eye and the transmission of radiant energy by Crookes and other glasses. *Proc Roy Soc* 1915; 89: 58-76.
4. Mapstone R: Measurement of corneal temperature. *Exp Eye Res* 1968; 7: 237-243.
5. Hamano H, Minami S, Sugimori Y: Experiments in thermometry of the anterior portion of the eye wearing a contact lens by means of infra-red thermometer. *Cont Lens & Ant Eye* 1969; 13: 12-22.
6. Purslow C, Wolffsohn JS: The relation between physical properties of the anterior eye and ocular surface temperature. *Optom Vis Sci* 2007; 84: 197-201.
7. Efron N, Young G, Brennan N: Ocular surface temperature. *Curr Eye Res* 1989; 8(9): 901-906.
8. Morgan PB, Soh MP, Efron N: Potential Application of Ocular Thermography. *Optom Vis Sci* 1993; 70: 568-576.
9. Morgan PB, Tullo AB, Efron N: Infrared thermography of the tear film in dry eye. *Eye* 1995; 9: 615-618.
10. Morgan PB, Smyth JV, Tullo AB, Efron N: Ocular temperature in carotid artery stenosis. *Optom Vis Sci* 1999; 72: 850-854.
11. Galassi F, Giambee B, Corvi A, Falaschi G: Evaluation of ocular surface temperature and retrobulbar hemodynamics by infrared thermography and colour Doppler imaging in patient with glaucoma. *Br J Ophthalmol* 2007; 91: 878-881.
12. Galassi F, Giambee B, Corvi A et al.: Retrobulbar hemodynamics and corneal surface temperature in glaucoma surgery. *Int Ophthalmol* 2008; 28: 399-405.
13. Dua S, Acharya UR, Ng EYK: Computational Analysis of the human eye with applications. World Scientific Publishing Co Pte Ltd, Singapore 2011: 267-271.
14. Mapstone R: Determinants of corneal temperature. *Brit J Ophthalmol* 1968; 52: 729-741.
15. Acharya UR, Ng EYK, Gerk CY, Tan JH: Analysis of normal human eye with different age groups using infrared images. *J Med Sys* 2008; 33: 207-213.
16. Alio J, Padron M: Influence of age on the temperature of the anterior segment of the eye. *Ophthalmic Res* 1982; 14: 153-159.
17. Morgan PB: Ocular thermography in health and disease. The University of Manchester 1994.
18. Girardin F, Orgul S, Erb C, Flammer J: Relationship between the corneal temperature and finger temperature. *Arch Ophthalmol* 1999; 117(2): 166-169.
19. Kocak I, Orgul S, Flammer J: Variability in the measurement of corneal temperature using a noncontact infrared thermometer. *Ophthalmologica* 1999; 213(6): 345-349.
20. Żelichowska B, Różycki R, Tłustochowicz M et al.: The usefulness of thermography in the diagnostics of dry eye syndrome. *Klin Oczna* 2005; 107(7-9): 483-487.
21. Sodi A, Giambene B, Falashi G: Ocular surface temperature in patient with central retinal vein occlusion: preliminary data. *Eur J Ophthalmol* 2007; 17(5): 755-759.
22. Sodi A, Giambene B, Falashi G: Ocular surface temperature in diabetic retinopathy: a pilot study by infrared thermography. *Eur J Ophthalmol* 2009; 19: 1004-1008.
23. Shih S-R, Li H-Y, Hsiao Y-L, Chang T-C: The application of temperature measurement of the eyes by digital infrared thermal imaging as a prognostic factor of methylprednisolone pulse therapy for Graves' ophthalmopathy. *Acta Ophthalmol* 2010; 88: 154-159.
24. Kawaii AA: Thermography in ocular inflammation. *Indian J Radiol Imag* 2013; 23: 281-283.
25. Hara Y, Shiraishi A, Yamaguchi M et al.: Evaluation of allergic conjunctivitis by thermography. *Ophthalmic Res* 2014; 51: 161-166.
26. Kawasaki S, Mizoue S, Yamaguchi M et al.: Evaluation on filtering bleb function by thermography. *Br J Ophthalmol* 2009; 93: 1331-1336.
27. Klamann M, Maier A-K, Gonnermann J et al.: Thermography: a new option to monitor filtering bleb function. *J Glaucoma* 2015; 24: 272-277.
28. Kamao T, Yamaguchi M, Kawasaki S et al.: Screening for a dry eye with newly developed ocular surface thermographer. *Am J Ophthalmol* 2011; 151: 782-791.
29. Jun B, Berdahl JP, Kim T: Thermal study of longitudinal and torsional ultrasound phacoemulsification: tracking the temperature of corneal surface, incision and handpiece. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36(5): 832-837.
30. Maldonado-Codina C, Morgan PB, Efron N: Thermal consequences of photorefractive keratectomy. *Cornea* 2001; 20: 509-515.
31. Śniegowski M, Erlanger M, Valez-Montoya R et al.: Difference in ocular surface temperature by infrared thermography in phakic and pseudophakic patients. *Clin Ophthalmol* 2015; 9: 461-466.

otrzymano/received: 08.02.2017
zaakceptowano/accepted: 28.02.2017