

(114)

Przydatność termografii w diagnostyce zespołu suchego oka

The usefulness of thermography in the diagnostics of dry eye syndrome

Beata Żelichowska¹, Radosław Różycki¹, Mateusz Tłustochowicz¹,
Agnieszka Kujawa¹, Bolesław Kalicki², Piotr Murawski³

¹Z Kliniki Okulistyki Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Andrzej Stankiewicz

²Z Pracowni Termowizji Kliniki Pediatrii i Nefrologii Dziecięcej Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Anna Jung

³Z Sekcji Informatyki Wydziału Technicznego Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie

Kierownik: mgr inż. Piotr Murawski

Summary: Purpose: The aim of the study was to evaluate corneal temperature in patients with dry eye syndrome, and in normal subjects by measuring with infrared radiation thermography.
Material and methods: Each eye of 9 patients with dry eye syndrome and each eye of 13 normal subjects, were evaluated in this study. The corneal surface temperature was measured during 15 seconds after opening the eye.
Results: Mean corneal temperature was lower in the dry eye syndrome patients compared with the control group. Decrease in time of mean corneal temperature in patients with dry eye syndrome, was lesser than in the control group.
Conclusions: The study shows the usefulness of thermography in the diagnosis of dry eye syndrome.

Słowa kluczowe: zespół suchego oka, temperatura rogówki, termografia.
Key words: dry eye syndrome, corneal temperature, thermography.

Wstęp

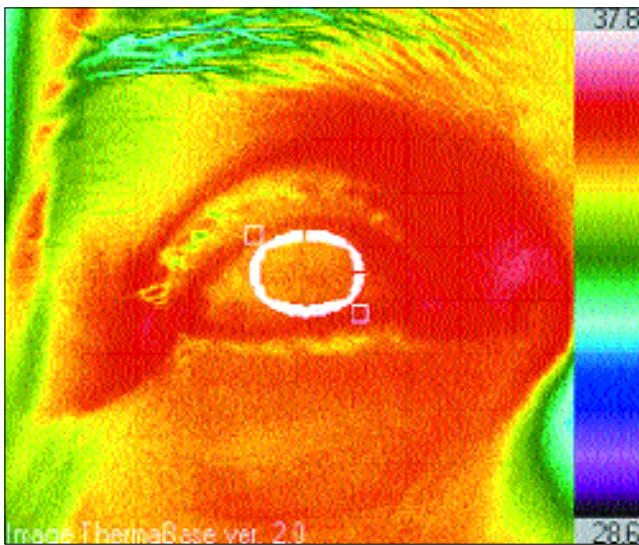
Zespół suchego oka (ZSO) charakteryzuje się występowaniem wielu nieswoistych objawów, obejmujących najczęściej zadrażnienie oczu, pieczenie oraz uczucie obecności ciała obcego. Niespecyficzny charakter tych dolegliwości wskazuje na konieczność wykonania wielu badań dodatkowych, niezbędnych do potwierdzenia rozpoznania ZSO. Do uznanych metod diagnostycznych należą testy oceniające dynamikę filmu łzowego, zwłaszcza test Schirmera, oraz ocena czasu przzerwiania filmu łzowego. W badaniu pacjenta z podejrzeniem ZSO szczególnie przydatne jest barwienie spojówki i rogówki fluoresceiną, różem bengalskim bądź zielenią lizaminy. Współczesne metody diagnostyki ZSO pomimo niewątpliwych zalet związanych z prostotą realizacji i interpretacji wyników cechuje wiele istotnych wad. Są to badania inwazyjne, powodujące nasilenie miejscowych dolegliwości wskutek dodatkowego podrażnienia oczu. Ponadto niektóre procedury diagnostyczne nie mogą być wykonywane jednocześnie ze względu na ryzyko wzajemnego zafałszowania wyników. Stwarza to konieczność przeprowadzania badań podczas wielokrotnych wizyt pacjenta. W związku z powyższym celowe wydaje się wprowadzenie prostej, nieinwazyjnej metody, która z wysoką czułością

pozwoiłaby rozpoznać ZSO. Pewne nadzieje wiąże się z zastosowaniem badania termograficznego, będącego obiecującą alternatywą dla badań inwazyjnych.

Termografia obrazuje rozkład wartości temperatury badanej powierzchni uzyskany poprzez pomiar emitowanego przez dany obiekt promieniowania podczerwonego. Do diagnostyki okulistyki została wprowadzona po raz pierwszy w roku 1968 przez Mapstona (1,2). Głównymi wskazaniami do jej zastosowania były do niedawna procesy związane z przekrwieniem tkanek oczodołu, m. in. guzy oczodołu i procesy zapalne oka. Jednakże nie została rozpowszechniona w praktyce klinicznej z uwagi na ograniczoną dostępność, jak również z powodu wprowadzenia bardziej precyzyjnych obrazowych metod diagnostycznych. Obecnie stan ten zmienia się ze względu na znaczący spadek cen sprzętu pomiarowego mogącego znaleźć zastosowanie w codziennej praktyce klinicznej.

Cel pracy

Celami niniejszej pracy są ocena wartości temperatury powierzchni rogówki u chorych z ZSO w odniesieniu do grupy kontrolnej osób zdrowych oraz próba oceny przydatności badania termograficznego w diagnostyce ZSO.



Ryc. 1. Przykładowy termogram.
Fig. 1. Example of the thermogram.

Materiał i metody

Badaniem objęto każde oko 22 osób, w tym 5 mężczyzn i 17 kobiet w wieku od 29 do 70 lat, średnio $50,5 \pm 11,7$ roku. Badaną grupę stanowiło 9 chorych z ZSO spowodowanym niedoborem wodnej składowej filmu łzowego w przebiegu zespołu Sjögrena (2 mężczyźni i 7 kobiet w wieku średnio $59,3 \pm 6,4$ roku) oraz 13 osób zdrowych w grupie kontrolnej (3 mężczyźni i 10 kobiet w wieku średnio $43,6 \pm 10,2$ roku).

Badanie wykonywano po 10-minutowej adaptacji osoby badanej do warunków otoczenia. Temperatura powietrza w pomieszczeniu wynosiła średnio $22^\circ \pm 1^\circ$ C, a wilgotność 50%. Pacjent miał otwarte oczy przez minimum 15 sekund, w tym czasie w odstępach 5-sekundowych dokonywano czterokrotnego pomiaru temperatury odrębnie dla każdego oka. Kolejne odczyty oznaczono umownie jako T_0 , T_5 , T_{10} , T_{15} , przy czym czas T_0 odzwierciedlał pomiar wykonany tuż po otwarciu oczu, natomiast T_{15} odpowiednio w 15. sekundzie badania.

Badanie termograficzne wykonano kamerą termowizyjną ThermoCam SC-1000 firmy FLIR. Odległość kamery od badanego oka wynosiła około 1 metra. Dane analizowano za pomocą autorskiego oprogramowania do analizy i archiwizacji termogramów Image ThermoBase*. Przedmiotem oceny była średnia wartość temperatury powierzchni rogówki oraz jej zmiana w czasie od chwili otwarcia oczu. Przykładowy termogram przedstawia rycina 1.

Zgodnie z załączoną do każdego obrazu skalą barwną kolor czerwony odzwierciedla obszary o najwyższej wartości temperatury dla badanego obiektu, żółty – obszary o wartości pośredniej, natomiast kolor niebieski obrazuje obszary o najniższej temperaturze.

Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą testu t-Studenta. Wyniki analizy na poziomie $p < 0,05$ przyjęto jako statystycznie istotne.

Wyniki

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono statystycznie istotne występowanie niższej średniej wartości tempe-

ratury powierzchni rogówki u pacjentów z ZSO w porównaniu z grupą kontrolną. Tabela I przedstawia uzyskane wyniki średniej temperatury powierzchni rogówki w poszczególnych czasowych punktach pomiarowych.

W czasie T_0 , czyli tuż po otwarciu oczu, średnia wartość temperatury powierzchni rogówki pacjentów wynosiła $35,4^\circ \pm 1,7^\circ$ C, natomiast u osób zdrowych $37,7^\circ \pm 0,9^\circ$ C. W obu grupach obserwowano spadek temperatury od chwili otwarcia oczu w kolejnych etapach badania. Uzyskany w trakcie czwartego pomiaru, to jest w czasie T_{15} , wzrost średniej arytmetycznej wartości temperatury powierzchni rogówki w obu grupach wynika z faktu, że 25% badanych oczu nie potrafiło utrzymać stałej pozycji bez mrugnienia w okresie pomiędzy 10. a 15. sekundą badania. Wynik tego pomiaru nie był wykorzystywany do oceny zmiany wartości temperatury w czasie.

Spadek wartości temperatury od chwili otwarcia oczu, oceniany na podstawie różnicy średnich temperatur powierzchni rogówki pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi a czasem T_0 , był znacznie niższy w grupie chorych z ZSO w odniesieniu do grupy kontrolnej we wszystkich przedziałach czasowych. Spadek ten po 5., 10. i 15. sekundzie badania wynosił odpowiednio u pacjentów z ZSO: $0,2^\circ$; $0,3^\circ$ i $0,3^\circ$ C, natomiast u osób zdrowych: $0,4^\circ$; $0,5^\circ$; $0,6^\circ$ C (tab. II).

Na podstawie przykładowej sekwencji termogramów u pacjenta z ZSO (ryc. 2) oraz u osoby zdrowej (ryc. 3) można zaobserwować zmianę zabarwienia w kolejnych termogramach – początkowo przeważająca barwa czerwona, obrazująca obszary o najwyższej wartości temperatury, ustępuje barwie żółtej. Zwraca uwagę fakt, że zjawisko to jest wyraźniej widoczne w oku zdrowym, co wskazuje na większy spadek temperatury.

Porównując wielkość spadku średniej temperatury powierzchni rogówki w kolejnych 5-sekundowych etapach badania, stwierdziliśmy, że największy spadek temperatury nastąpił już w pierwszych

Czas badania	T_0	T_5	T_{10}	T_{15}
Grupa kontrolna	$37,7 \pm 0,9$	$37,4 \pm 0,9$	$37,2 \pm 0,9$	$37,5 \pm 0,6$
Pacjenci z ZSO	$35,4 \pm 1,7$	$35,2 \pm 1,9$	$35,2 \pm 1,8$	$35,4 \pm 1,5$
Znamiennosc statystyczna (p)	0,0001	0,0007	0,0006	0,0008

Tab. I. Średnia temperatura powierzchni rogówki w grupie kontrolnej i u chorych z ZSO.

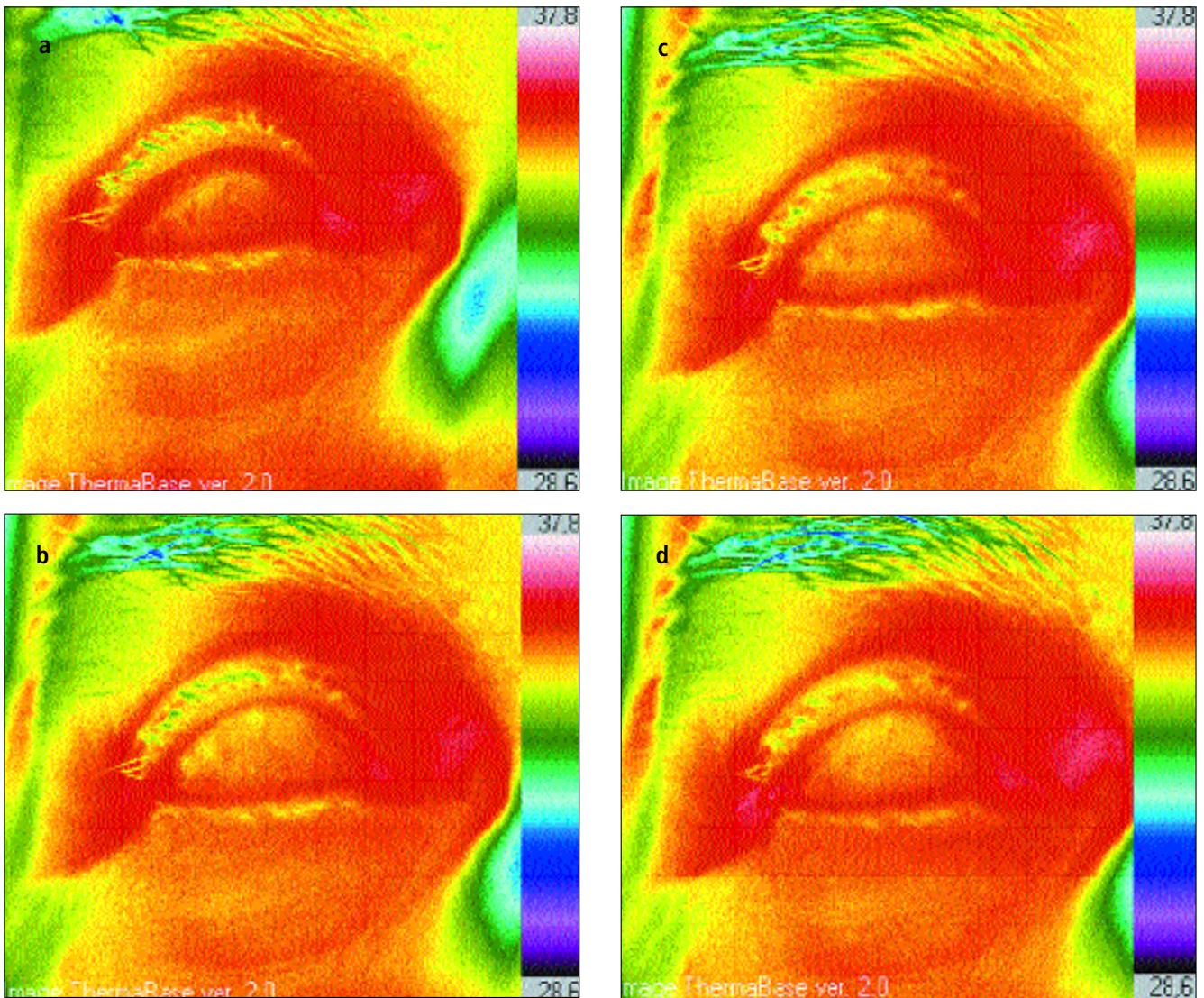
Tab. I. Mean corneal surface temperature in the control group and in patients with dry eye syndrome.

Przedziały czasowe	T_0-T_5	T_0-T_{10}	T_0-T_{15}
Grupa kontrolna	$0,4 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,3$
Pacjenci z ZSO	$0,2 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,3$	$0,3 \pm 0,3$
Znamiennosc statystyczna (p)	0,011	0,008	0,0164

Tab. II. Różnica temperatur powierzchni rogówki w poszczególnych przedziałach czasowych w grupie kontrolnej i u chorych z ZSO.

Tab. II. Difference of the corneal surface temperature in time ranges in the control group and patients with dry eye syndrome.

*Autor oprogramowania – mgr inż. Piotr Murawski, Sekcja Informatyki Wydziału Technicznego Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie.



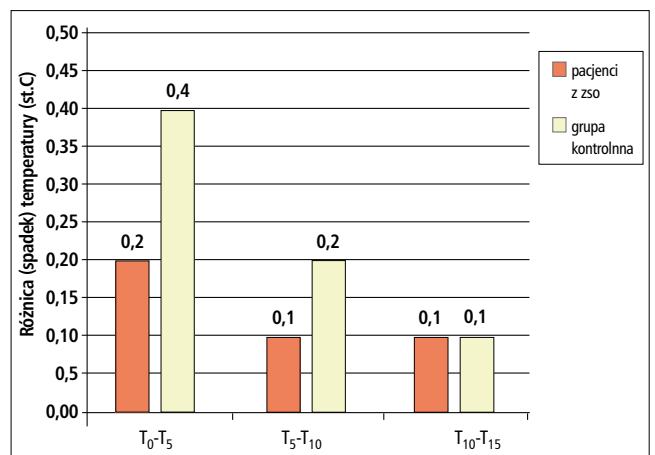
Ryc. 2. Sekwencja termogramów u pacjenta z zespołem suchego oka (a – T_0 ; b – T_5 ; c – T_{10} ; d – T_{15}).
 Fig. 2. Sequential thermograms in patient with dry eye syndrome (a – T_0 ; b – T_5 ; c – T_{10} ; d – T_{15}).

5 sekundach badania zarówno w grupie pacjentów z ZSO, jak i w grupie osób zdrowych (ryc. 4), wskazując na ewentualną możliwość skrócenia czasu trwania całego badania z 15 do 5 sekund.

Omówienie

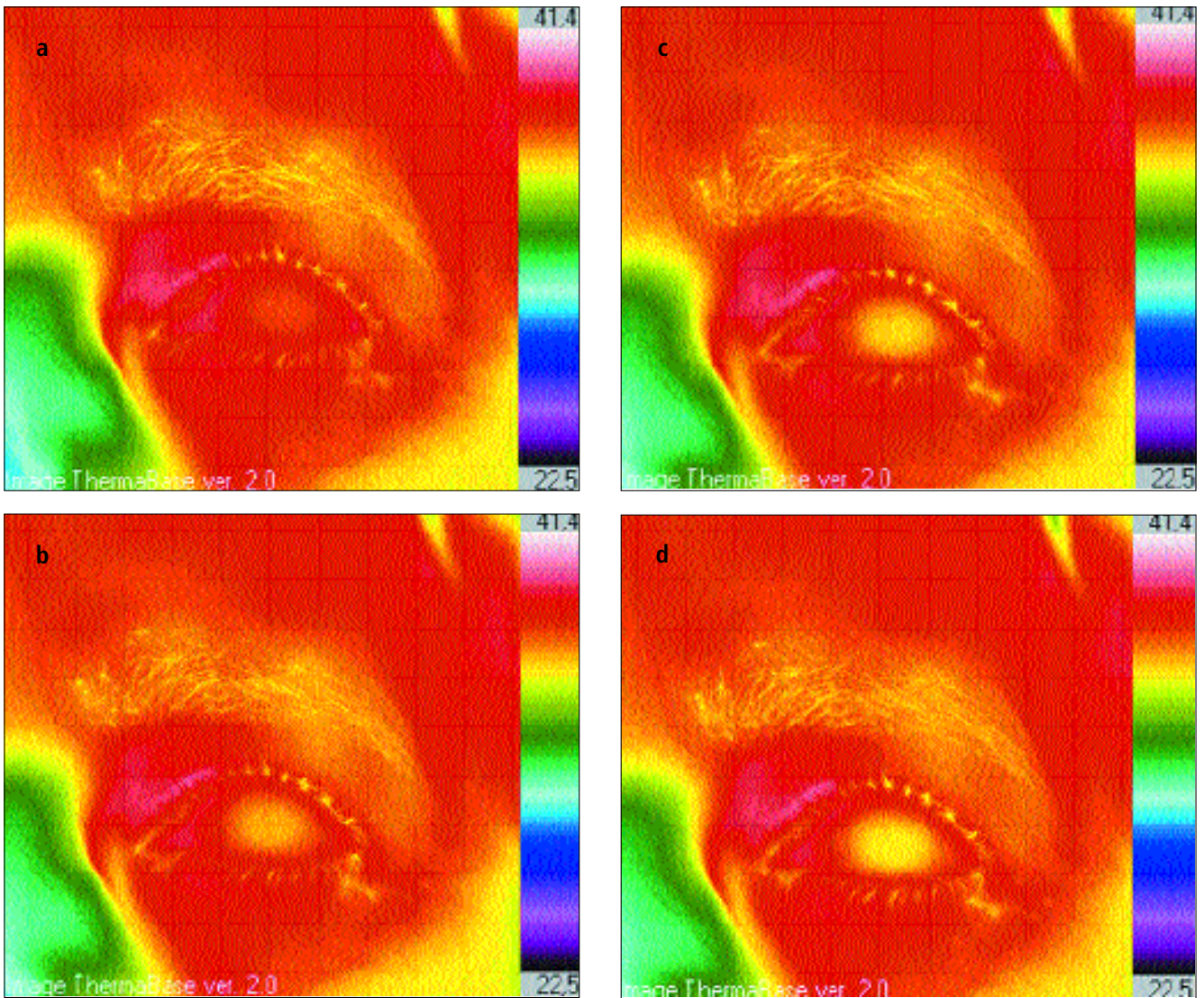
Ocena temperatury powierzchni rogówki jest przedmiotem stosunkowo nielicznych doniesień i nadal brak jednolitego stanowiska na temat jej bezwzględnej wartości. Zaobserwowana w naszej pracy średnia wartość temperatury powierzchni rogówki jest znacznie niższa u pacjentów z ZSO ($35,4^\circ \pm 1,7^\circ \text{C}$ – po otwarciu oczu) niż w grupie kontrolnej ($37,7^\circ \pm 0,9^\circ \text{C}$; $p = 0,0001$).

W piśmiennictwie dane na ten temat są rozbieżne i niejednoznaczne. I tak Morgan i wsp., oceniając średnią temperaturę powierzchni ocznej z użyciem termografii, uzyskali znacznie wyższe wartości temperatury u pacjentów z ZSO ($32,38^\circ \pm 0,69^\circ \text{C}$) w porównaniu z grupą kontrolną ($31,94^\circ \pm 0,54^\circ \text{C}$; $p < 0,01$) (3). Jednakże należy podkreślić, że przedmiotem analizy w tej pracy była średnia temperatura całej powierzchni oka. Trudno jest też ustalić, czy badający dysponowali przyrządami pomiarowymi pozwalający-



Ryc. 4. Różnica temperatury powierzchni rogówki w 5-sekundowych przedziałach czasowych w grupie kontrolnej i u chorych z ZSO.

Fig. 4. Difference of the corneal surface temperature in 5-sec-time ranges in the control group and patients with dry eye syndrome.



Ryc. 3. Sekwencja termogramów u osoby zdrowej (a – T_0 ; b – T_5 ; c – T_{10} ; d – T_{15}).
 Fig. 3. Sequential thermograms in healthy subject (a – T_0 ; b – T_5 ; c – T_{10} ; d – T_{15}).

mi na pomiar wartości temperatury w układzie punkt – punkt z dokładnością $0,01^\circ\text{C}$. Z kolei Mori i wsp. (4) zaobserwowali zbliżone do naszych danych wartości średniej temperatury rogówki u pacjentów z ZSO ($35,6^\circ \pm 1,6^\circ\text{C}$), jednakże bez znamiennej różnicy w odniesieniu do grupy kontrolnej ($p = 0,78$). Podobne wyniki dotyczące braku znamienych różnic temperatury rogówki u chorych z ZSO w porównaniu z osobami zdrowymi opisywano we wcześniejszych publikacjach (1,2,5).

W opozycji do tych doniesień pozostają obserwacje Craiga i wsp., którzy stwierdzili znamienne niższą średnią temperaturę rogówki u chorych z ZSO niż w grupie kontrolnej ($p = 0,032$) (6). Dane te są zgodne z naszymi obserwacjami.

Przyczyna tak sprzecznych wyników zawartych w piśmiennictwie może wynikać z odmiennej techniki badania, zróżnicowanej lokalizacji i czułości przyrządów pomiarowych (4), jak również może odzwierciedlać różnice w populacji pacjentów z ZSO w poszczególnych badaniach (6). Obserwowaną przez nas wyższą temperaturę rogówki w oczach zdrowych można wytłumaczyć, odnosząc się do zjawiska emisyjności środowiska wodnego, jakim jest stabilny film łzowy. Wiadomo, że pomiar temperatury w podczerwieni jest funkcją emisyjności, przy czym wartość temperatury na powierzchni

badanego obiektu jest odwrotnie proporcjonalna do wartości jego emisyjności. Mniejsza emisyjność środowiska wodnego w porównaniu z emisyjnością powietrza może tłumaczyć uzyskane wyższe wartości temperatury w oczach zdrowych ze stabilnym filmem łzowym. Jednakże w opinii autorów niniejszej pracy pomiar bezwzględnej wartości temperatury powierzchni rogówki ma ograniczoną wartość diagnostyczną ze względu na możliwość zafałszowania wyniku przez szereg czynników zarówno miejscowych, jak i ogólnoustrojowych (przekrwienie, stany zapalne), mogących istotnie zaburzyć rozkład temperatury.

Kolejnym zagadnieniem, które oceniliśmy w naszej pracy, była zmiana temperatury powierzchni rogówki w czasie od chwili otwarcia oczu. Rogówka jest najcieplejsza tuż po otwarciu powiek, ponieważ, kiedy oczy są zamknięte, ogrzewają ją powieki. Jej temperatura spada wraz z upływem czasu, gdy nie mrugamy. W bieżącej pracy stwierdziliśmy statystycznie istotny mniejszy spadek temperatury powierzchni rogówki w czasie w oczach pacjentów z ZSO w odniesieniu do grupy kontrolnej. Uzyskane przez nas wyniki w tym zakresie są zgodne z przedstawianymi w piśmiennictwie (4,5). Fujishima i wsp. zaobserwowali, że spadek temperatury rogówki w oczach otwartych przez 10 sekund u pacjentów z ZSO

jest mniejszy niż u osób zdrowych i wynosi odpowiednio $0,21^{\circ} \pm 0,06^{\circ} \text{C}$ dla pacjentów z ZSO i $0,61^{\circ} \pm 0,28^{\circ} \text{C}$ dla zdrowych ($p = 0,0001$) (5). Na zmianę temperatury rogówki wpływa szybkość parowania filmu łzowego. Parowanie łez jest mniejsze u pacjentów z ZSO i tym samym zachodzi mniejsza zmiana temperatury rogówki. Natomiast większy spadek temperatury rogówki w czasie w oczach zdrowych może wynikać bezpośrednio ze zwiększonego parowania łez z powierzchni oka (4,5,7).

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań wysunięto następujące wnioski:

1. Średnia temperatura powierzchni rogówki u chorych z ZSO jest statystycznie znacznie niższa w odniesieniu do grupy kontrolnej osób zdrowych.
2. Wraz z upływem czasu od chwili otwarcia oczu tempo spadku średniej temperatury powierzchni rogówki jest istotnie mniejsze u pacjentów z ZSO niż u osób zdrowych.
3. Uzyskane wyniki badań potwierdzają przydatność termografii jako metody bezdotykowej i nieinwazyjnej, umożliwiającej szybkie potwierdzenie rozpoznania ZSO.

PIŚMIENICTWO:

1. Mapstone R.: *Measurement of corneal temperature*. Exp. Eye. Res., 1968, 7, 237-243.
2. Mapstone R.: *Determinants of corneal temperature*. Br. J. Ophthalmol., 1968, 52, 729-741.
3. Morgan P. B., Tullo A. B., Efron N.: *Infrared thermography of the tear film in dry eye*. Eye, 1995, 9 (Pt 5), 615-618.
4. Mori A., Oguchi Y., Okusawa Y., Ono M., Fujishima H., Tsubota K.: *Use of high-speed, high-resolution thermography to evaluate the tear film layer*. Am. J. Ophthalmol., 1997, Dec., 124 (6), 729-735.
5. Fujishima H., Toda I., Yamada M., Sato N., Tsubota K.: *Corneal temperature in patients with dry eye evaluated by infrared radiation thermometry*. Br. J. Ophthalmol., 1996, Jan., 80 (1), 29-32.
6. Craig J. P., Singh I., Tomlinson A., Morgan P. B., Efron N.: *The role of tear physiology in ocular surface temperature*. Eye, 2000, Aug., 14 (Pt 4), 635-641.
7. Tsubota K., Yamada M.: *Tear evaporation from the ocular surface*. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 1992, 33, 2942-2950.

Praca wpłynęła do Redakcji 27.11.2004 r. (656).

Zakwalifikowano do druku 04.05.2005 r.

Adres do korespondencji (Reprint requests to):
lek. med. Beata Żelichowska
ul. Kardynała A. Kakowskiego 8 m. 1
04-042 Warszawa