

(12)

# Ocena aberracji układu optycznego oka u pacjentów ze stożkiem rogówki

## Evaluation of eye total aberration in patients with keratoconus

**Dorota Wyględowska-Promieńska, Izabela Zawajska, Piotr Jaworski**

Z I Katedry i Kliniki Okulistyki Śląskiej Akademii Medycznej w Katowicach  
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Ariadna Gierek-Łapińska

**Summary:** Purpose: Evaluation of total eye aberration in patients with I, II, III degree of keratoconus according to Amsler scale, and results compared with normal group patients, having only refractive error.  
Material and Method: The analyzed group of patients consisted of 43 patients (55 eyes), who underwent examinations: visual acuity, subjective and objective refractive error, cornea keratometric power, pupil diameter and total eye aberration performed by System WASCA (Asclepion-Meditec). Our patients were divided in to two groups: group I - 16 patients with keratoconus (25 eyes), group II - 27 control patients (30 eyes).  
Results: Comparison of all analyzed parameters in both groups were statistical significant. In eyes with keratoconus coma aberrations excel spherical aberrations.

**Słowa kluczowe:** stożek rogówki, aberracje.

**Key words:** keratoconus, aberrations.

### Wstęp

Stożek rogówki wraz z rogówką kulistą, zwyrodnieniem brzożnym przezroczystym i tylnym stożkiem rogówki należy do grupy dystrofii zniekształcających krzywiznę rogówki. Charakterystyczną cechą tego schorzenia jest środkowe lub paracentralne ścięczenie istoty właściwej rogówki z jej stożkowym wypukleniem (3).

Od czasu wprowadzenia do diagnostyki komputerowej wideokeratografii (CVK) znacznie wzrosła wykrywalność wczesnych stadiów rozwoju tej jednostki chorobowej. Dzięki CVK uzyskujemy bardzo dokładne wyniki pomiarów keratometrycznych rogówki, a co za tym idzie możemy monitorować proces leczenia i postępu schorzenia (7,8). Problemem nadal pozostały jednak pomiar i ocena całkowitej aberracji układu optycznego gałki ocznej o tak znacznie zmienionej krzywiznie rogówki. Skonstruowanie systemu WASCA (Wavefront Aberration Supported Corneal Ablation) stworzyło cały szereg nowych możliwości badawczych (5,6). Dzięki pomiarom i przetworzeniom komputerowym płaskiej fali generowanej przez laser podczerwony o niskiej mocy, przechodzącej przez wszystkie ośrodki optyczne oka i odbitej od siatkówki, możliwe stały się zmierzenie i graficzna prezentacja całkowitej aberracji optycznej oka. Informacje te dotyczą aberracji zarówno niższego, jak i wyższego rzędu (1,2,4,9,10,11). Bardzo interesująca wydaje się ocena tych zaburzeń w schorzeniu, które powodują wysoką nieborność nieregularną. W stożku rogówki zaburzenia aberracji rozpoczynają się już na poziomie pierwszego ośrodka optycznego, jakim są przednia i tylna powierzchnia rogówki. Różnorodność postaci morfologicznych oraz stopni zaawansowania stożka rogówki daje możliwość wykonywania pomiarów w bardzo różnorodnych grupach badanych.

**Celem pracy** jest ocena całkowitej aberracji układu optycznego oka w grupie pacjentów z I, II, III stopniem stożka rogówki według

skali Amslera i porównanie uzyskanych wyników z grupą pacjentów bez tej jednostki chorobowej, a jedynie z wadami refrakcji.

### Materiał i metodyka

W naszej klinice przeprowadziliśmy badania 43 pacjentów (55 oczu), u których wykonywaliśmy badania ostrości wzroku z najlepszą korekcją okularową; badania subiektywnej i obiektywnej wady refrakcji (sfera, cylinder, ekwiwalent sferyczny); pomiar krzywizny rogówki za pomocą wideokeratografu TMS-2 firmy Tomey, wyposażonego w program do detekcji i analizy stożka rogówki; a także badania średnicy źrenicy oraz całkowitej aberracji układu optycznego oka za pomocą Systemu WASCA firmy Asclepion-Meditec. Badania statystyczne wykonywaliśmy za pomocą programu Statistika for Windows, korzystając z testu t-Studenta dla zmiennych zależnych (oceniając parametry w obrębie tej samej grupy) i niezależnych (przy porównywaniu dwóch grup). Współczynnik istotności statystycznej ocenialiśmy na poziomie  $p(\alpha) < 0,05$ .

Pacjentów podzieliśmy na dwie grupy:

- ❖ **grupa I** – pacjenci ze stożkiem rogówki; 16 pacjentów – 25 oczu, w tym 5 kobiet i 11 mężczyzn, wiek pacjentów wahał się od 17 do 44 lat (średni wiek wynosił 26,8 roku),
- ❖ **grupa II** – grupa porównawcza; 27 pacjentów – 30 oczu, w tym 22 kobiety i 5 mężczyzn, wiek pacjentów wahał się od 21 do 49 lat (średni wiek wynosił 27,7 roku).

Grupy nie różniły się statystycznie pod względem wieku.

### Wyniki

Wyniki analizy i porównania ostrości wzroku oraz subiektywnej wady refrakcyjnej (sfera, cylinder, ekwiwalent sferyczny) w poszczególnych grupach przedstawiono w tab. I i na ryc. 1.

Group	Ostrość widzenia BCVA		Sfera (D) Sph. (D)		Cylinder (D) Cyl. (D)		Ekwiwalent sferyczny (D) Sph. (D)	
	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II
M	0,63	1,00	-2,23	-3,70	-2,19	-0,45	-3,29	-3,93
Sd	0,31	0,02	3,29	1,49	1,59	0,52	3,48	1,58
p( $\alpha$ )	< 0,05		< 0,05		< 0,05		> 0,05	

**Tab. 1.** Porównanie ostrości widzenia z najlepszą korekcją okularową i subiektywnej wady refrakcyjnej (składowa sferyczna, cylindryczna, ekwiwalent sferyczny) w obu grupach.

**Tab. 1.** Comparison of BCVA, subjective refractive error (sphere, cylinder, spherical equivalent) in both groups.

M – wartość średnia, Sd – odchylenie standardowe, p ( $\alpha$ ) – poziom istotności statystycznej  
M – mean value, Sd – standard deviation, p ( $\alpha$ ) – probability level

Zarówno składowa sferyczna, jak i składowa cylindryczna, różniły się istotnie statystycznie. Na rycinie istotne różnice oznaczone są „\*\*”.

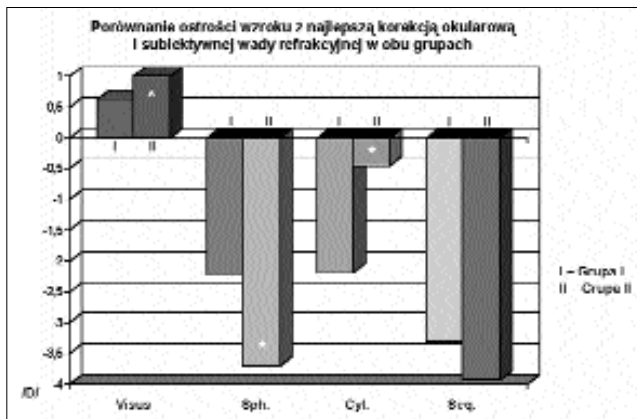
W przypadkach podejrzenia i wczesnego stadium zaawansowania stożka najprecyzyjniejszą ocenę uzyskuje się, prezentując mapę topograficzną w skali znormalizowanej. Skala znormalizowana dostosowuje obecny zakres zmierzonych wartości mocy do obecnie wyświetlanej mapy, pozwalając na bardziej szczegółową w porównaniu ze skalą absolutną prezentację rozkładu mocy refrakcyjnej rogówki. Programem bardzo przydatnym w AutoTopografii TMS-2 w diagnozowaniu i monitorowaniu stożka rogówki jest program skringowy stożka rogówki (Keratoconus Screening Program).

Program opiera się na dwóch opublikowanych metodach analizy topografii rogówki, których celem jest wykrycie stożka rogówki i określenie jego zaawansowania. Należy jednak pamiętać, że ostateczna diagnoza dotycząca wykrycia klinicznego stożka rogówki musi być potwierdzona badaniem okulistycznym.

Wszystkim pacjentom wykonano mapę topograficzną rogówki oka z użyciem AutoTopografu TMS-2. Mapy przedstawiano w skali znormalizowanej i poddano je analizie przez program skringowy stożka. Skala znormalizowana dostosowuje obecny zakres zmierzonych wartości mocy do obecnie wyświetlanej mapy, pozwalając na bardziej szczegółową w porównaniu ze skalą absolutną prezentację rozkładu mocy refrakcyjnej rogówki.

Obraz prezentowany na monitorze po wybraniu programu skringowego stożka rogówki składa się z następujących elementów:

- ❖ obrazu wideo rogówki oka z nałożonymi zielonymi pierścieniami,
- ❖ mapy topograficznej,



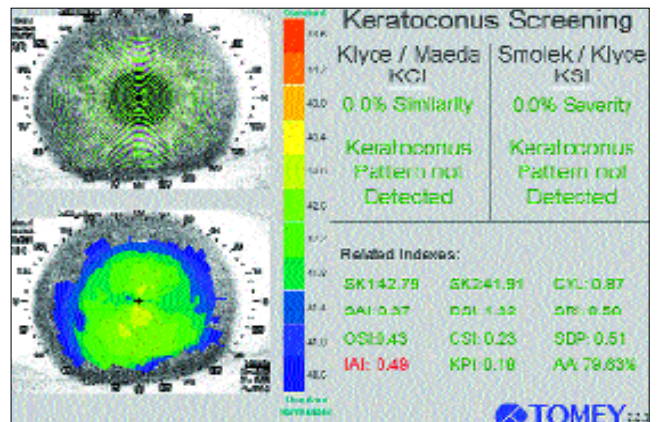
**Ryc. 1.** Porównanie ostrości widzenia z najlepszą korekcją okularową i subiektywnej wady refrakcyjnej w obu grupach.

**Fig. 1.** Comparison of BCVA, subjective refractive error in both groups.

- ❖ analizy stożka rogówki z użyciem metody Smoleka-Klyce'a i Klyce'a-Maeda.

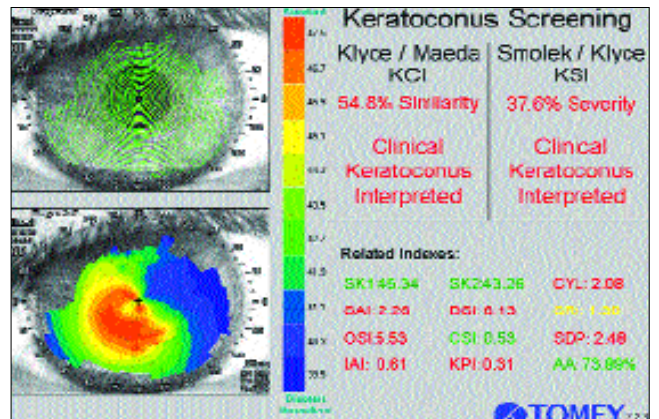
Zmierzone wartości przedstawiane są w kolorach: zielonym – wartości normalne, żółtym – wartości podejrzone, czerwonym – wartości nieprawidłowe. Przykładowe mapy topograficzne rogówki dla oka normalnego i oka ze stożkiem rogówki przedstawiono na ryc. 2 i 3.

W grupie II wynik testu stożkowego przeprowadzonego obiema metodami wyniósł 0%. W grupie I obecność stożka rogówki za pomocą testu Klyce'a-Maeda została potwierdzona średnio w 73%, a z użyciem metody Smoleka-Klyce'a – w 71%.



**Ryc. 2.** Mapa topograficzna rogówki oka zdrowego.

**Fig. 2.** Corneal topographic map of normal eye.



**Ryc. 3.** Mapa topograficzna oka ze stożkiem rogówki.

**Fig. 3.** Corneal topographic map of eye with keratoconus.

Group	Max. K (D)		Min. K (D)		SimK1 (D)		SimK2 (D)	
	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II
M	54,47	44,64	43,72	43,08	50,12	44,17	44,93	43,21
Sd	4,86	1,37	2,61	1,18	3,98	1,35	2,95	1,25
p(α)	< 0,05		> 0,05		< 0,05		< 0,05	

Tab. II. Porównanie maksymalnej i minimalnej wartości keratometrycznej symulowanej wartości keratometrycznej SimK1 i SimK2 w obu grupach.

Tab. II. Comparison of maximal and minimal keratometry value, simulated keratometry value SimK1 and SimK2 in both groups.

M – wartość średnia, Sd – odchylenie standardowe, p (α) – poziom istotności statystycznej

M – mean value, Sd – standard deviation, p (α) – probability level

W programie skriningowym stożka obliczane są również następujące parametry:

- ❖ **Max K** – maksymalna wartość keratometryczna wyznaczona z całej mapy topograficznej,
- ❖ **Min K** – minimalna wartość keratometryczna wyznaczona z całej mapy topograficznej,
- ❖ **SimK1** – symulowana wielkość keratometryczna, będąca wartością największej obserwowanej mocy refrakcyjnej rogówki, otrzymywanej jako wartość średnia mocy z 6-8 pierścieni wzdłuż każdego z południków. SimK1 prezentuje moc dioptryczną i oś południka o najwyższej mocy dioptrycznej,
- ❖ **SimK2** – prezentuje moc dioptryczną południka prostopadłego do SK1,
- ❖ **SAI** – indeks asymetrii powierzchni; mierzy różnicę w mocy refrakcyjnej rogówki na każdym pierścieniu w promieniu 180 stopni na całej powierzchni rogówki. SAI jest często wyższy od wartości normalnej w przypadku stożka rogówki, keratoplastyki drążącej, decentracji spowodowanej chirurgią refrakcyjną, urazami i noszeniem soczewek kontaktowych. W przypadku gdy SAI jest wysoki, nie udaje się dobrać optymalnej korekcji okularowej.

- ❖ **DSI** – indeks różnic w sektorze; prezentuje powierzchnię o największych różnicach mocy dioptrycznej rogówki pomiędzy dwoma z ośmiu sektorów rogówki. Jest on wyższy od wartości normalnej w przypadku objawów stożka rogówki,
- ❖ **SDP** – odchylenie standardowe mocy rogówki; obliczane jest z rozkładu wszystkich mocy rogówki w wideokeratoskopie. SDP jest wysoki w przypadku stożka rogówki, przeszczepów, urazów i wszystkich sytuacji, w których zakres mierzony topograficznie mocy refrakcyjnej rogówki jest duży.

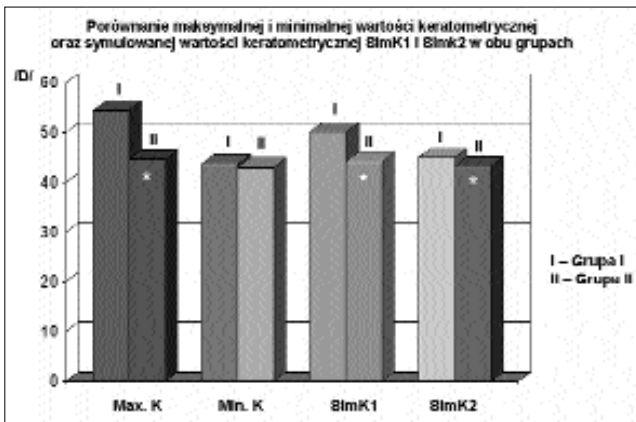
Wyniki pomiarów wartości keratometrycznych przedstawiono w tab. II i na ryc. 4.

Analiza statystyczna wyżej wymienionych parametrów wykazała istotną różnicę w wielkości Max K, SimK1 i SimK2 w obu grupach.

Następnie analizowano parametry SAI, DSI, SDP, świadczące o wysokości i wielkości obszaru nieregularności powierzchni rogówki. Wyniki pokazują tab. III i ryc. 5.

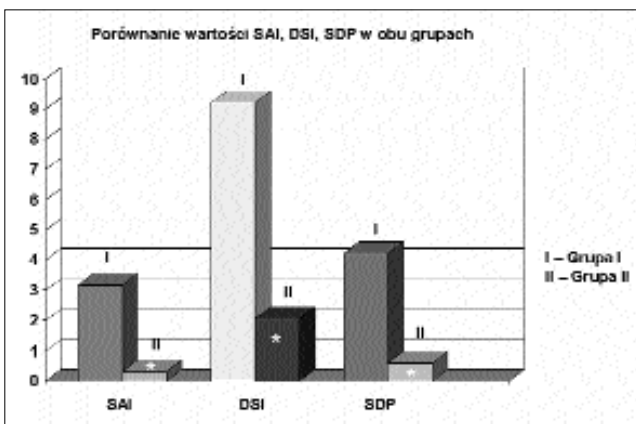
Wszystkie wymienione parametry są istotnie statystycznie wyższe w grupie I w porównaniu z grupą II.

Kolejne badania wykonywaliśmy z użyciem Systemu WASCA. Analizator WASCA służy do oceny całkowitej wady refrakcji oka z uwzględnieniem aberracji wyższego rzędu. Aberracja to wada układu optycznego przejawiająca się tym, że otrzymane w jej wyniku obrazy są nieostre, zniekształcone lub zabarwione.



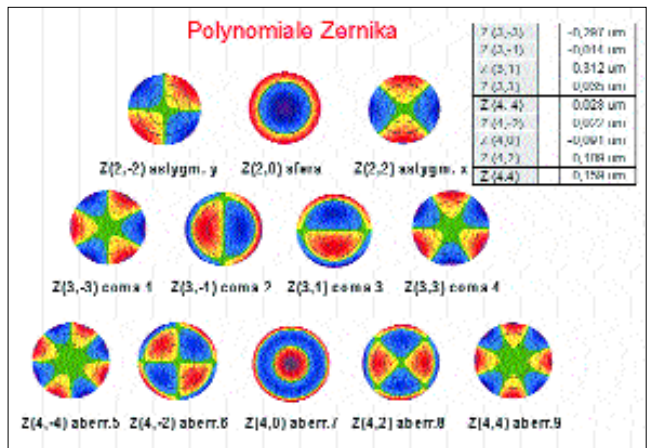
Ryc. 4. Porównanie wartości keratometrycznych w obu grupach.

Fig. 4. Comparison of keratometry values in both groups.



Ryc. 5. Porównanie wartości SAI, DSI i SDP w obu grupach.

Fig. 5. Comparison of SAI, DSI, SDP in both groups.



Ryc. 6. Polinomialne Zernika.

Fig. 6. Zernike Polynomials.

Group	SAI		DSI		SDP	
	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II
M	3,18	0,32	9,22	2,08	4,22	0,60
Sd	1,32	0,13	3,76	0,48	1,88	0,18
p( $\alpha$ )	< 0,05		< 0,05		< 0,05	

Tab. III. Porównanie wartości SAI, DSI, SDP w obu grupach.

Tab. III. Comparison of SAI, DSI, SDP in both groups.

M – wartość średnia, Sd – odchylenie standardowe, p ( $\alpha$ ) – poziom istotności statystycznej

M – mean value, Sd – standard deviation, p ( $\alpha$ ) – probability level

Dodatkową możliwością, jaką ma analizator, jest pomiar średnicy źrenicy oraz bezpośredniej i dynamicznej zdolności akomodacyjnej oka.

Aberracje wyższego rzędu są matematycznie przedstawione za pomocą tzw. polinomiali Zernika (trzeciego i czwartego rzędu). Rzeczywiste zniekształcenie spowodowane aberracjami może być opisane jako kombinacja serii polinomiali Zernika. Obraz polinomiali drugiego (sfera, cylinder) oraz trzeciego (coma) i czwartego rzędu (aberracja sferyczna, koniczynka, tzw. trefoil) przedstawia ryc. 6.

Ryc. 7a i 7b przedstawiają barwną mapę aberracji całkowitej i aberracji wyższego rzędu pacjenta z normalną rogówką (mapa topograficzna rogówki, ryc. 2), a ryc. 8a i 8b – barwną mapę aberracji całkowitej i aberracji wyższego rzędu pacjenta ze stożkiem rogówki (mapa topograficzna rogówki, ryc. 3).

Wyniki analizy i porównania grup obiektywnej wady refrakcyjnej, zmierzonej za pomocą Systemu WASCA (sfera, cylinder, ekwiwalent sferyczny), oraz pomiaru średnicy źrenicy w zaciemnionym pomieszczeniu przedstawiono w tab. IV i na ryc. 9.

Jak można zauważyć, statystycznie istotnie większą składową cylindryczną obserwowano u pacjentów ze stożkiem rogówki. Interesujący również jest fakt, że pacjenci ci charakteryzowali się znacznie mniejszym rozmiarem źrenicy. Natomiast obie grupy nie różniły się zarówno składową sferyczną, jak i ekwiwalentem sferycznym.

Dokonałiśmy również porównania ekwiwalentu sferycznego wady refrakcyjnej mierzonej subiektywnie i z użyciem Systemu WASCA w obu grupach. Wyniki zawarto w tab. V i na ryc. 10.

Możemy tutaj zaobserwować, że w I grupie pacjentów ekwiwalent sferyczny, mierzony subiektywnie, był statystycznie istotnie mniejszy w porównaniu z ekwiwalentem sferycznym zmierzonym aberrometrem.

Następnie analizie poddano aberracje układu optycznego oka.

W szczególności analizowaliśmy:

- ❖ **TA** – współczynnik całkowitej aberracji układu optycznego oka, uwzględniający aberracje drugiego, trzeciego i czwartego rzędu,

- ❖ **RMS HO** – współczynnik aberracji wyższego rzędu, opisujący czoło fali,

- ❖ **PV OPD HO** – współczynnik określający różnicę między maksymalną a minimalną amplitudą powracającej fali, uwzględniający jedynie aberracje wyższego rzędu.

Wartości powyższych współczynników podane są w  $\mu\text{m}$ . Jeżeli współczynnik PV OPD HO jest mniejszy od 1,3  $\mu\text{m}$ , można przyjąć, że udział aberracji wyższego rzędu nie ma istotnego wpływu na widzenie pacjenta i nie trzeba go korygować.

Wyniki pomiarów przedstawiono w tab. VI i na ryc. 11.

Możemy zauważyć, że o ile całkowita aberracja układu optycznego oka nie różniła się statystycznie w obu grupach, o tyle współczynniki RMS HO i PV OPD HO były statystycznie istotnie wyższe w grupie I w porównaniu z grupą II.

Analiza współczynników Zernika trzeciego i czwartego rzędu pozwala na szczegółowe określenie udziału każdego ze zniekształceń w aberracji wyższego rzędu. Wyniki pomiarów prezentują tab. VII i VIII oraz ryc. 12.

Wszystkie współczynniki Zernika były statystycznie istotnie wyższe w grupie pacjentów ze stożkiem rogówki, jednak decydująca zmiana dotyczy aberracji trzeciego rzędu – comy w osi X.

### Omówienie wyników

Stożek rogówki w każdym stadium rozwoju charakteryzuje się występowaniem niezborności nieregularnej. W zależności od stopnia zaawansowania choroby w obrębie rogówki występują bardzo różne wartości keratometryczne, a więc różne wartości dioptryczne. Od czasu wprowadzenia do diagnostyki okulistycznej komputerowych wideokeratografów wielu autorów (Rabinowitz, Wilson, Maguire) przedstawiało w pracach ocenę lokalizacji, rozległości i wysokości astygmatyzmu nieregularnego w stożkach rogówki (7,8,12). Wyniki swych analiz porównywali z parametrami wysokości wad sferycznej i cylin-

Group	Sfera (D) Sph. (D)		Cylinder (D) Cyl. (D)		Ekwiwalent sferyczny (D) Seq. (D)		Średnica źrenicy (mm) Pupil diameter (mm)	
	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II
M	-4,90	-4,16	-2,52	-0,49	-6,16	-4,41	4,96	6,19
Sd	5,35	1,17	1,78	0,33	5,37	1,17	0,99	0,80
p( $\alpha$ )	> 0,05		< 0,05		> 0,05		< 0,05	

Tab. IV. Porównanie obiektywnej wady refrakcyjnej (składowa sferyczna, cylindryczna, ekwiwalent sferyczny) i średnicy źrenicy zmierzonej za pomocą systemu WASCA w obu grupach.

Tab. IV. Comparison of objective refractive error (sphere, cylinder, spherical equivalent) and pupil diameter measured by WASCA System in both groups.

M – wartość średnia, Sd – odchylenie standardowe, p ( $\alpha$ ) – poziom istotności statystycznej

M – mean value, Sd – standard deviation, p ( $\alpha$ ) – probability level

Group	Grupa I		Grupa II	
	Ekwiwalent sferyczny subiektywny (D) Subjective Seq. (D)	Ekwiwalent sferyczny obiektywny (D) Objective Seq. (D)	Ekwiwalent sferyczny subiektywny (D) Subjective Seq. (D)	Ekwiwalent sferyczny obiektywny (D) Objective Seq. (D)
M	-3,29	-6,16	-3,93	-4,36
Sd	3,47	5,37	1,58	1,19
p(α)	< 0,05		> 0,05	

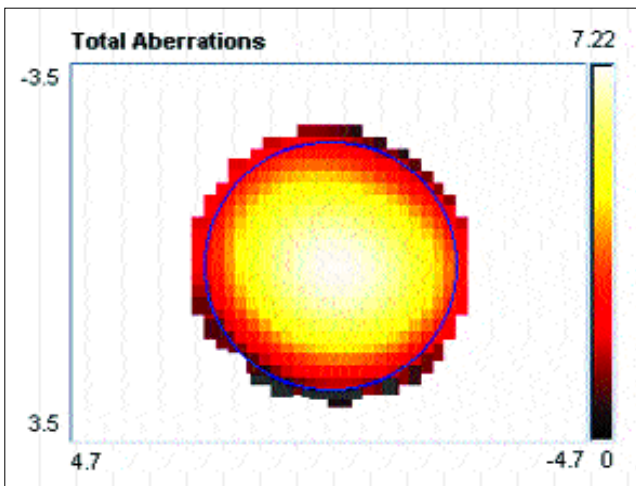
Tab. V. Porównanie subiektywnego i obiektywnego ekwiwalentu sferycznego w obu grupach.

Tab. V. Comparison of subjective and objective spherical equivalent in both groups.

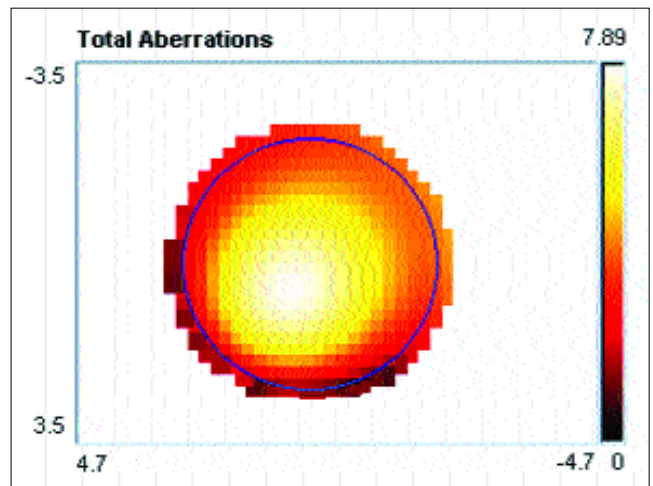
M – wartość średnia, Sd – odchylenie standardowe, p (α) – poziom istotności statystycznej  
 M – mean value, Sd – standard deviation, p (α) – probability level

drycznej oraz z uzyskiwaną najlepszą ostrością wzroku pacjentów. W naszych badaniach detekcję stożka rogówki wykonywaliśmy na podstawie metod Smoleka-Klyce'a i Klyce'a-Maeda. Obie potwierdziły obecność stożka u wszystkich pacjentów z grupy badanej. Ze względu na barierę technologiczną, brak aberrometrów, nie można było wcześniej analizować całkowitej aberracji układu optycznego oka ze stożkiem, a więc aberracji niższego i wyższego rzędu (1,2,5,6,9,10). Wia-

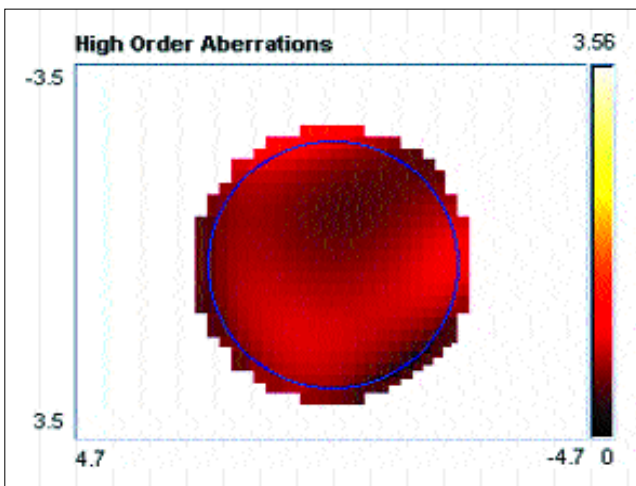
domo, że stożek rogówki jest jednym z przypadków jednostek chorobowych, w których poprzez zmianę kształtu rogówki, jej uwypuklenie ku przodowi, w bardzo znaczący sposób dochodzi do zaburzeń przechodzenia fali świetlnej. To z kolei istotnie wpływa na indukowanie aberracji wyższego rzędu, które obniżają ostrość wzroku pacjentów. Trudny, raczej niemożliwy jest dobór korekcji okularowej tak, aby uzyskać pełne, ostre widzenie chorego. Znacznie lepsze efekty uzyskuje



Ryc. 7a. Barwna mapa aberracji całkowitej pacjenta z normalną rogówką.  
 Fig. 7a. Color map of total aberration in patient with normal cornea.

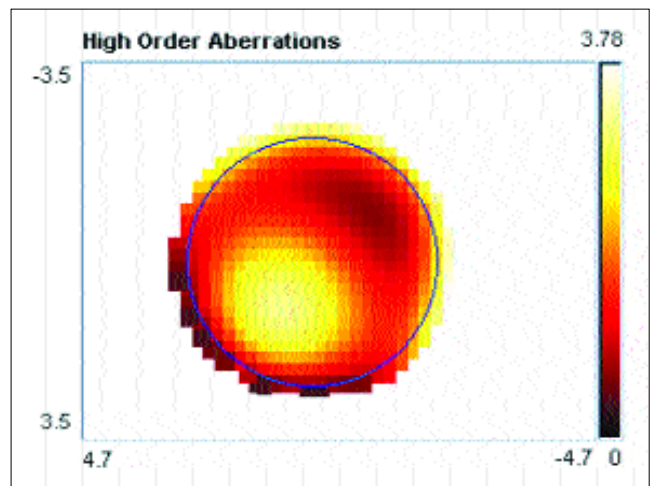


Ryc. 8a. Barwna mapa aberracji całkowitej pacjenta ze stożkiem rogówki.  
 Fig. 8a. Color map of total aberration in patient with keratoconus.



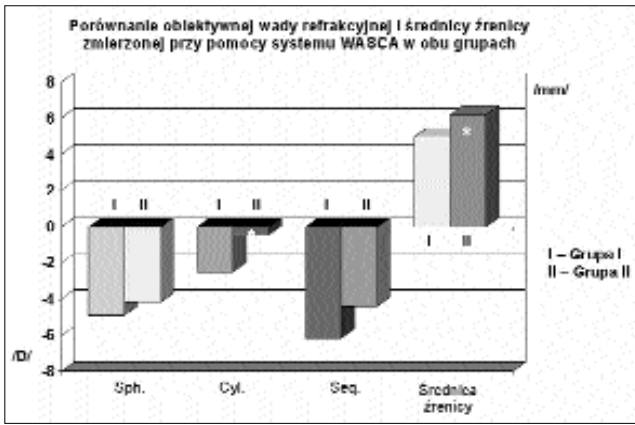
Ryc. 7b. Barwna mapa aberracji wyższego rzędu pacjenta z normalną rogówką.

Fig. 7b. Color map of high order aberration in patient with normal cornea.



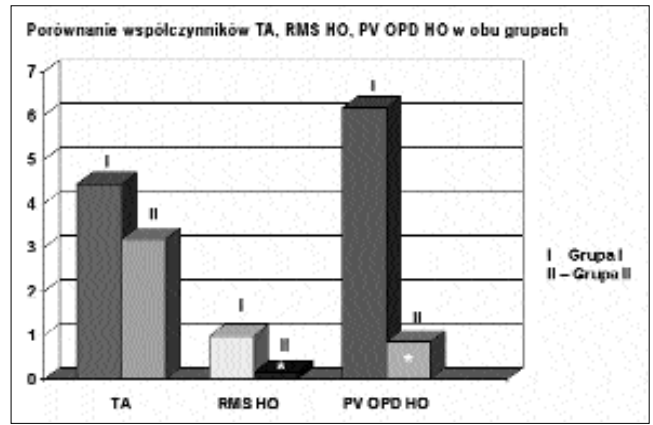
Ryc. 8b. Barwna mapa aberracji wyższego rzędu pacjenta ze stożkiem rogówki.

Fig. 8b. Color map of high order aberration in patient with keratoconus.



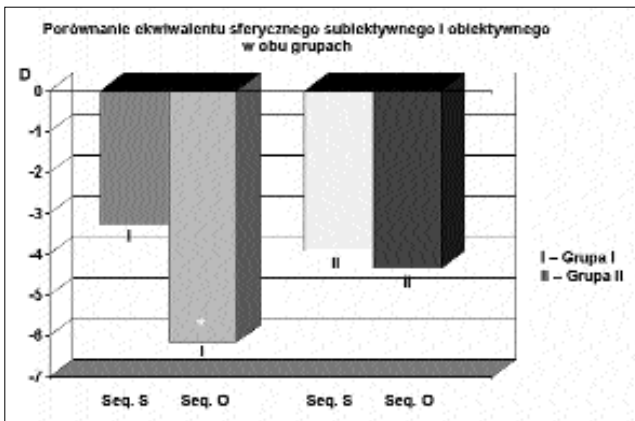
Ryc. 9. Porównanie obiektywnej wady refrakcyjnej i średnicy źrenicy zmierzonej za pomocą Systemu WASCA w obu grupach.

Fig. 9. Comparison of objective refractive error (sphere, cylinder, spherical equivalent) and pupil diameter measured by WASCA System in both groups.



Ryc. 11. Porównanie współczynników TA, RMS HO, PV OPD HO w obu grupach.

Fig. 11. Comparison of TA, RMS HO, PV OPD HO in both groups.



Ryc. 10. Porównanie subiektywnego i obiektywnego ekwiwalentu sferycznego w obu grupach.

Fig. 10. Comparison of subjective and objective spherical equivalent in both groups.



Ryc. 12. Porównanie współczynników Zernika dla aberracji trzeciego i czwartego rzędu w obu grupach.

Fig. 12. Comparison of Zernike coefficients for third and fourth order aberration in both groups.

się za pomocą korekcji twardymi soczewkami kontaktowymi, szczególnie jeżeli były one dopasowywane w sposób ugniatający szczyt stożka rogówki, doprowadzając do spłaszczenia nieregularnej krzywizny rogówki. W chwili obecnej wiadomo, że jest to niewłaściwy sposób doboru soczewki. Obecnie stosowane metody aplikacji nie pozwalają na całkowite wyrównanie niezborności, a lekarze kontaktolodzy borykają się z problemem braku pełnej ostrości wzroku pacjenta, nieostym, rozmytym, przesuniętym lub podwójnym widzeniem nawet w najlepiej dopasowanych soczewkach kontaktowych. W większości przypadków wynika to ze znacznie silniejszych aberracji wyższego rzędu w porównaniu z regularnymi rogówkami.

Ciekawy wydaje się zatem problem oceny całkowitej wady refrakcji układu optycznego oka u pacjentów ze stożkiem rogówki i porównanie tych wyników z grupą pacjentów mających wadę refrakcji, ale charakteryzujących się regularnością kształtu rogówki.

Z analizy naszych grup badanych wynika, że istnieją statystycznie znaczne różnice między grupami w zakresie wysokości i jakości aberracji wyższego rzędu. W oczach ze stożkiem rogówki aberracje typu coma przewyższają aberracje sferyczne. Jest to prawdopodobnie związane z tym, że szczyt stożka rogówki w większości przypadków zlokalizowany jest w kwadrantach dolnych rogówki.

Powoduje to zaburzenie refrakcji i wartości keratometrycznych między górnymi i dolnymi kwadrantami, dając znaczną asymetrię. To z kolei zaburza przejście promieni świetlnych w dolnych częściach rogówki bardziej niż w górnych. Aberrometr może więc być z powodzeniem wykorzystywany do identyfikacji stożka rogówki na podstawie charakterystycznego obrazu aberracji wyższego rzędu.

W naszych badaniach byliśmy ograniczeni doboru pacjentów z I, II lub II/III stopniem stożka rogówki ze względu na trudności w wykonaniu badania w bardziej zaawansowanych stadiach choroby.

Dodatkową zaletą Systemu WASCA jest możliwość pomiaru średnicy źrenicy. W naszych badaniach zaobserwowaliśmy, że wielkość źrenicy w grupie pacjentów ze stożkiem rogówki była istotnie mniejsza w porównaniu z kontrolną grupą pacjentów. Prawdopodobnie z uwagi na to u wielu pacjentów ze stożkiem przez długi czas, zwłaszcza przy obwodowym usytuowaniu stożka i braku charakterystycznych oznak w badaniu biomikroskopowym, nie obserwuje się zmian w ostrości wzroku i dyskomfortu wywołanego tym schorzeniem. Często dopiero pomiar topografii krzywizny rogówki dostarcza pierwszych informacji o obecności stożka, co stanowi również duże zaskoczenie dla pacjenta.

System WASCA dzięki wyjątkowej technice pomiarowej i dużo większemu, w porównaniu ze standardowymi autorefraktometrami,

Group	TA ( $\mu\text{m}$ )		RMS HO ( $\mu\text{m}$ )		PVOPDHO ( $\mu\text{m}$ )	
	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II
M	4,45	3,17	0,98	0,14	6,18	0,83
Sd	3,42	0,97	0,45	0,05	2,98	0,30
p( $\alpha$ )	> 0,05		< 0,05		< 0,05	

Tab. VI. Porównanie wartości TA, RMS HO, PV OPD HO w obu grupach.

Tab. VI. Comparison of TA, RMS HO, PV OPD HO in both groups.

M – wartość średnia, Sd – odchylenie standardowe, p ( $\alpha$ ) – poziom istotności statystycznejM – mean value, Sd – standard deviation, p ( $\alpha$ ) – probability level

Group	Z1 ( $\mu\text{m}$ )		Z2 ( $\mu\text{m}$ )		Z3 ( $\mu\text{m}$ )		Z4 ( $\mu\text{m}$ )	
	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II
M	0,67	0,10	0,69	0,13	2,05	0,23	0,71	0,13
Sd	0,44	0,09	0,42	0,08	1,19	0,16	0,70	0,10
p( $\alpha$ )	< 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05	

Tab. VII. Porównanie współczynników Zernika dla aberracji trzeciego rzędu w obu grupach.

Tab. VII. Comparison of Zernike coefficients for third order aberration in both groups.

M – wartość średnia, Sd – odchylenie standardowe, p ( $\alpha$ ) – poziom istotności statystycznejM – mean value, Sd – standard deviation, p ( $\alpha$ ) – probability level

Group	Z5 ( $\mu\text{m}$ )		Z6 ( $\mu\text{m}$ )		Z7 ( $\mu\text{m}$ )		Z8 ( $\mu\text{m}$ )		Z9 ( $\mu\text{m}$ )	
	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II	Grupa I	Grupa II
M	0,25	0,04	0,44	0,04	0,34	0,09	0,55	0,07	0,30	0,07
Sd	0,28	0,02	0,32	0,03	0,24	0,06	0,48	0,06	0,29	0,05
p( $\alpha$ )	< 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05		< 0,05	

Tab. VIII. Porównanie współczynników Zernika dla aberracji czwartego rzędu w obu grupach.

Tab. VIII. Comparison of Zernike coefficients for fourth order aberration in both groups.

M – wartość średnia, Sd – odchylenie standardowe, p ( $\alpha$ ) – poziom istotności statystycznejM – mean value, Sd – standard deviation, p ( $\alpha$ ) – probability level

zakresowi pomiarowemu jest jedynym urządzeniem pozwalającym zmierzyć obiektywną refrakcję oka u pacjentów ze schorzeniami rogówek, a zwłaszcza ze stożkiem rogówki. Należy jednak pamiętać, że wyższy stopień zaawansowania stożka stanowi ograniczenie również dla tego aparatu.

**PIŚMIENNICTWO:** 1. Applegate R. A., Thibos L. N., Hilmantel G.: *Optics of aberroscopy and super vision*. J. Cataract. Refract. Surg., 2001, 27, 1093-1107. 2. Applegate R. A.: *Limits to vision: can we do better than nature?* J. Refract. Surg., 2000, 16, S547-S551 w Liang J., Williams D. R., Miller D. T.: *Supernormal vision and high-resolution retinal imaging through adaptive optics*. J. Opt. Soc. Am. A., 1997, 14, 2884-2892. 3. Bron A. J.: *Keratoconus*. Cornea, 1988, 7, 163-169. 4. Howland H. C., Howland B.: *A subjective method for the measurement of monochromatic aberrations of the eye*. J. Opt. Soc. Am., 1977, 67, 1508-1518. 5. Liang J., Grimm B., Goelz S., Bille J.: *Objective measurement of the wave aberrations of the human eye using a Hartmann-Shack wavefront sensor*. J. Opt. Soc. Am. A., 1994, 11, 1949-1957. 6. Liang J., Williams D. R.: *Aberrations and retinal image quality of the normal human eye*. J. Opt. Soc. Am. A., 1997,

14, 2873-2883. 7. Maguire L. J., Bourne W. M.: *Corneal topography of early keratoconus*. Am. J. Ophthalmol., 1989, 108, 107-112. 8. Rabinowitz Y. S., Mc Donnell P. J.: *Computer-assisted corneal topography in keratoconus*. Refract. Corneal Surg., 1989, 5 (6), 400-408. 9. Thibos L.: *Principles of Hartmann-Shack aberrometry*. J. Refract. Surg., 2000, 16, 563-565. 10. Thibos L. N., Hong X.: *Clinical applications of the Shack-Hartmann aberrometer*. Optom. Vis. Sci., 1999, 76, 817-825. 11. Williams D., Yoon G. Y., Porter J., Guirao A., Hofer H., Cox I.: *Visual benefit of correcting high order aberrations of the eye*. J. Refract. Surg., 2000, 16, 554-559. 12. Wilson S. E., Lin D. T. C., Klyce S. D.: *Corneal topography of keratoconus*. Cornea, 1991, 10, 2-8.

Praca wpłynęła do Redakcji 13.03.2003 r. (222).

Adres do korespondencji (Reprint requests to):  
dr n. med. Dorota Wyględowska-Promieńska  
Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny nr 5 ŚAM  
ul. Ceglana 35  
40-952 Katowice