

(38)

Kliniczna ocena nowej metody pomiaru ciśnienia wewnątrzgałkowego tonometrem ICare

Clinical evaluation of the ICare tonometer in measuring intraocular pressure

Patrycja Krzyżanowska-Berkowska¹, Magdalena Asejczyk-Widlicka²

¹ Z Katedry i Kliniki Okulistyki Akademii Medycznej we Wrocławiu
Kierownik: dr hab. n. med. Marta Misiuk-Hojło

² Z Instytutu Fizyki Politechniki Wrocławskiej we Wrocławiu
Kierownik Grupy Optyki Fizjologicznej: prof. dr hab. Henryk Kasprzak

Summary:

Purpose: To compare the intraocular pressure (IOP), values obtained with the ICare rebound tonometer with the Goldmann applanation tonometer (GAT), and to evaluate the influence of central corneal thickness (CCT), and radius of the corneal curvature (R) on IOP measurements.

Material and methods: Eighty four eyes of 48 subjects (65 eyes of glaucoma patients and 19 eyes of healthy volunteers), were examined with ICare and Goldmann tonometers. Central corneal thickness was determined by ultrasound pachymetry. Corneal radius of curvature was determined using corneal topography.

Results: There was no significant difference between IOP readings with ICare and GAT. Intraocular pressure measurements were found to be higher with the ICare tonometer, both in glaucoma patients (15.3 ± 4.0 mmHg), and normal subjects (14.4 ± 3.0 mmHg). ICare-GAT mean difference was 1.1 ± 3.6 mmHg (95% CI, -6.1-8.3 mmHg), for glaucoma patients and 1.8 ± 3.2 mmHg (95% CI, -4.6-8.2 mmHg), for healthy volunteers. Using CCT patients were divided into 2 groups: 1) thinnest corneas – $CCT \leq 556 \mu\text{m}$ and 2), thickest corneas – $CCT > 556 \mu\text{m}$. In the group of thinnest corneas there was no correlation between IOP, CCT and R. In thickest corneas there was significant correlation between IOP readings obtained by ICare and CCT ($r = -0.4$, $p < 0.01$), and mean radius (R) ($r = 0.5$, $p < 0.001$).

Conclusions: Measurements of IOP using the ICare rebound tonometer are in good agreement with Goldmann applanation tonometer, although influenced by CCT.

Słowa kluczowe:

tonometr odbiciowy ICare, tonometria aplanacyjna, jaskra, ciśnienie wewnątrzgałkowe.

Key words:

ICare rebound tonometer, applanation tonometry, glaucoma, intraocular pressure.

Precyzyjny i powtarzalny pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego (c.w.) pozostaje jednym z podstawowych czynników rozpoznania jaskry. Zbyt wysokie ciśnienie wewnątrzgałkowe bywa często pierwszym niepokojącym symptomem choroby skłaniającym do podjęcia dalszej diagnostyki. W przypadku wczesnego zdiagnozowania neuropatii jaskrowej i wprowadzenia odpowiedniego leczenia można spowolnić proces chorobowy, zapewniając pacjentowi użyteczną ostrość wzroku do końca życia.

Tonometria aplanacyjna jest obecnie najczęściej używaną metodą pomiaru c.w. w praktyce klinicznej.

Nowy tonometr ICare (TA01; Tiolat Oy, Helsinki, Finlandia) jest urządzeniem przenośnym, niewymagającym znieczulenia rogówki, a jednorazowa sonda, umieszczona w ramieniu tonometru przed wykonaniem badania, odbija się od powierzchni rogówki, wykorzystując zasadę indukcji magnetycznej. Z racji tego odbicia ICare jest nazywany tonometrem odbiciowym. Podczas uderzenia sondy w powierzchnię rogówki musi być zachowana odległość od 4 mm do 8 mm od rogówki oraz kąt prosty mię-

dzy sondą a powierzchnią rogówki. Badanie trwa kilka sekund, może się odbyć przy łóżku chorego i nie wymaga współpracy pacjenta w znacznym stopniu. Ekran tonometru ICare pokazuje średni wynik uzyskany z sześciu pomiarów z dokładnością do 1 mmHg. Metoda pomiaru zakłada, że tonometr ten nie jest zależny od geometrii rogówki (ryc. 1).

Urządzenie zawiera solenoid, jednorazową sondę o długości 50 mm i średnicy 1,4-1,0 mm wykonaną ze stali nierdzewnej i zakończoną magnezem, ferromagnetyk i mikroprocesory. Pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego jest wypadkową napięcia elektrycznego, które wywołuje ruch sondy, i prędkości oraz czasu, jakiego potrzebuje sonda na powrót do solenoidu po odbiciu się od powierzchni rogówki (1). Tonometr ICare został zaprojektowany tak, aby sygnalizować badającemu popełniany przez niego błąd, np. E02 – sonda nie dotknęła powierzchni rogówki – lub E07 – sonda nie uderzyła w centralną część rogówki. Pomaga to w zmniejszeniu wpływu błędów pomiarowych na ostateczny odczyt ciśnienia wewnątrzgałkowego.



Ryc. 1. Tonometr odbiciowy ICare.

Fig. 1. Rebound tonometer ICare.

Cel

Celem niniejszej pracy jest kliniczna ocena zgodności pomiarów ciśnienia wewnątrzgałkowego przeprowadzona za pomocą tonometru ICare z pomiarami przeprowadzonymi za pomocą tonometru aplanacyjnego Goldmanna (GAT) z uwzględnieniem centralnej grubości rogówki i promienia jej krzywizny.

Badaniom poddano grupę pacjentów z rozpoznaną jaskrą – 36 chorych – i grupę kontrolną zdrowych ochotników – 12 osób, projekt badawczy został przeprowadzony w Katedrze i Klinice Okulistyki AM we Wrocławiu. Średni wiek pacjentów obu grup wyniósł 64 lata, przebadano 35 kobiet (30 kobiet w grupie jaskrowej, 5 kobiet – w grupie kontrolnej) i 13 mężczyzn (6 mężczyzn w grupie jaskrowej, 7 mężczyzn – w grupie kontrolnej). Łącznie zbadano 84 oczu – 65 oczu w grupie jaskrowej i 19 oczu w grupie kontrolnej. Pacjenci chorujący na jaskrę na co dzień stosowali krople obniżające ciśnienie wewnątrzgałkowe.

Badania obejmowały badanie ostrości wzroku pacjenta do blizy i do dali w najlepszej możliwej korekcji okularowej, badanie promienia krzywizny rogówki (R) za pomocą topografu rogówki (TOMEY), sześciokrotny pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego tonometrem ICare, pachymetrię za pomocą pachymetru ultradźwiękowego (Pacline Optikon OKB 181), trzykrotny pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego tonometrem aplanacyjnym Goldmanna Nikon Slit Lamp NS-1V), badanie stanu przedniego odcinka oka w biomikroskopie z ustaleniem stanu przejrzystości ośrodków optycznych lub/ i obecności innych zmian chorobowych oraz oftalmoskopię pośrednią z użyciem soczewki Volka.

Pomiary za pomocą tonometru aplanacyjnego były wykonane przez doświadczonego okulistę, który nie znał wyników uzyskanych za pomocą tonometru ICare.

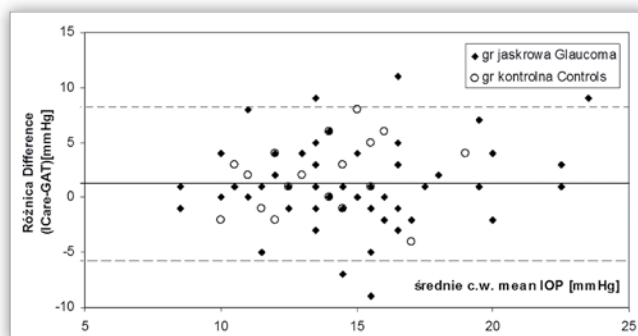
Uzyskane dane zostały poddane analizie statystycznej w programie STATISTICA 7 (StatSoft, Inc.). Statystyki opisowe zostały użyte do wyznaczenia średnich wartości, odchylenia standardowego oraz przedziałów ufności ciśnienia wewnątrzgałkowego dla pomiarów zebranych dwiema metodami. Następnie obliczono współczynnik korelacji Pearsona (r), który wskazuje na dużą korelację, gdy jego wartość wynosi $r = 0,7-0,99$, umiarkowaną korelację $r = 0,4-0,69$ oraz brak korelacji, gdy $r < 0,4$.

Zgodność między dwiema metodami pomiaru c.w. została oszacowana według metody Bland & Altman (1986, 1995). Do wyznaczenia zależności statystycznie istotnych przyjęto wartość współczynnika $p < 0,05$.

Wyniki

Analizie poddano średnie wartości ciśnienia wewnątrzgałkowego otrzymanego dwiema metodami i stwierdzono, że wartość c.w. mierzonego tonometrem Goldmanna (GAT) po uwzględnieniu grubości rogówki wynosiła $13,9 \pm 3,4$ mmHg [95% przedział ufności (CI) 13,2-14,7 mmHg], natomiast c.w. mierzonego tonometrem ICare – $15,2 \pm 3,8$ mmHg (w przedziale 8-28 mmHg). Współczynnik korelacji między badaniami tonometrem Goldmanna a tonometrem ICare wskazywał na umiarkowaną istotną korelację ($r = 0,53, p < 0,0001$).

Na rycinie 2. przedstawiono różnicę między dwiema metodami pomiaru c.w. (Icare-GAT) w funkcji średniego c.w. z dwóch metod [(GAT + ICare)/2]. Średnia różnica ciśnień między tonometrami ICare a aplanacyjnym (ICare-GAT) wynosiła $1,3 \pm 3,5$ mmHg [95% CI to -5,72-8,22 mmHg (średnia ± 2 SD)]. W 46% badanych przypadków różnica ICare-GAT wynosiła $\pm 0-1,0$ mmHg, w 23% różnica przyjmowała wartości $\pm 1,1-3,0$ mmHg, w 31% zaś wykazano różnicę większą niż $\pm 3,1$ mmHg.



Ryc. 2. Różnica między dwiema metodami pomiaru c.w. (ICare-GAT) u 84 pacjentów w funkcji średniego c.w. z dwóch metod [(GAT + ICare)/2]. Średnia wartość ICare-GAT = linia ciągła, przedziały ufności 95% (średnia ± 2 SD) = linia przerywana.

Fig. 2. Difference between IOP measurements ICare-GAT, for 84 patients in a function of mean IOP values [(GAT + Icare)/2]. Solid line = mean value ICare-GAT, dashed line = 95% confidence limit.

Nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między wiekiem pacjentów w grupie jaskrowej a wiekiem pacjentów w grupie kontrolnej. Badanie topografii rogówki udało się wykonać 74 pacjentom (56 pacjentom w grupie jaskrowej i 18 pacjentom w grupie kontrolnej), nie wykazało ono istotnych różnic w promieniu krzywizny profilu rogówki (grupa jaskrowa $R = 7,70 \pm 0,51$ mm, grupa kontrolna – $R = 7,60 \pm 0,14$ mm; $p > 0,1$). Średnie ciśnienie wewnątrzgałkowe mierzone tonometrem ICare w grupie jaskrowej wynosiło $15,3 \pm 4,0$ mmHg, a w grupie kontrolnej – $14,4 \pm 3,0$ mmHg. Średnia wartość ciśnienia wewnątrzgałkowego mierzonego tonometrem aplanacyjnym w grupie jaskrowej wynosiła $14,2 \pm 3,5$ mmHg, w grupie kontrolnej zaś – $12,9 \pm 2,5$ mmHg. Różnice między pomiarami wykonanymi obiema metodami nie były istotne statystycznie. Uzyskane wyniki przedstawiamy w tabeli I.

Średnia różnica ICare-GAT w grupie jaskrowej wynosiła $1,1 \pm 3,6$ mmHg (95% CI, -6,1-8,3 mmHg), w grupie kontrolnej natomiast – $1,8 \pm 3,2$ mmHg (95% CI, -4,6-8,2 mmHg).

Uczestnicy badania/ Participants	Grupa jaskrowa/ Glaucoma group	Grupa kontrolna/ Control group	p
Wiek (lata)/ Age (years)	64 ± 13	64 ± 18	>0,1
CCT (μm)	559 ± 32	544 ± 26	>0,1
R (mm)	7,70 ± 0,51	7,60 ± 0,14	>0,1
c.w. ICare (mmHg)/ IOP Icare	15,3 ± 4,0	14,4 ± 3,0	>0,1
c.w. Goldmann z korekcją CCT (mmHg)/ IOP Goldmann cor- rected with CCT	14,2 ± 3,5	12,9 ± 2,5	>0,05

Tab. I. Dane demograficzne uczestników badania.

Tab. I. Demographic data of the study participants.

Średnia grubość rogówki (CCT) mierzona w centrum u wszystkich badanych wynosiła $556 \pm 31 \mu\text{m}$ i nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między grupą jaskrową ($559 \pm 32 \mu\text{m}$) a grupą kontrolną ($544 \pm 26 \mu\text{m}$). Uwzględniając średnią grubość rogówki, 84 badanych oczu podzielono na dwie grupy: 1) cieńszych rogówek $\text{CCT} \leq 556 \mu\text{m}$ (średnia CCT wynosiła $531 \pm 23 \mu\text{m}$) – 39 oczu oraz 2) grubszych rogówek $\text{CCT} > 556 \mu\text{m}$ (średnia CCT wynosiła $578 \pm 17 \mu\text{m}$) – 45 oczu.

W grupie cieńszych rogówek średnia wartość c.w. zarówno według ICare, jak i GAT wynosiła $14 \pm 3 \text{ mmHg}$, a różnica między pomiarami c.w. dwiema metodami zawierała się w przedziale od -9 mmHg do $+7 \text{ mmHg}$ (średnia $0 \pm 3,1 \text{ mmHg}$). W grupie grubszych rogówek ($\text{CCT} > 556 \mu\text{m}$) średnia wartość c.w. według ICare wynosiła $16 \pm 4 \text{ mmHg}$, a wg tonometru aplanacyjnego – $14 \pm 4 \text{ mmHg}$, różnica między pomiarami dwoma tonometrami zawierała się w przedziale od -4 mmHg do $+11 \text{ mmHg}$ (średnia $2 \pm 3 \text{ mmHg}$).

Analiza statystyczna w grupie $\text{CCT} \leq 556 \mu\text{m}$ nie wykazała żadnych istotnych statystycznie korelacji między wartościami c.w. mierzonymi dwiema metodami a parametrami geometrycznymi rogówki R i CCT. W grupie $\text{CCT} > 556 \mu\text{m}$ zaobserwowano istotną statystycznie umiarkowaną korelację między warto-

	CCT ≤ 556 μm		CCT > 556 μm	
	c.w. ICare/ IOP Icare (mmHg)	c.w. Gold- mann/ IOP Goldmann (mmHg)	c.w. ICare/ IOP Icare (mmHg)	c.w. Gold- mann/ IOP Goldmann (mmHg)
Liczba oczu/ Number of eyes	39	39	45	45
CCT (μm)	r = -0,1 p > 0,5	r = -0,03 p > 0,8	r = -0,4 p < 0,01	r < 0,01 p > 0,9
R (mm)	r = 0,3 p > 0,1	r = 0,1 p > 0,5	r = 0,5 p < 0,001	r = 0,3 p < 0,02

Tab. II. Korelacje między poszczególnymi parametrami w grupie $\text{CCT} \leq 556 \mu\text{m}$ oraz $\text{CCT} > 556 \mu\text{m}$.Tab. II. Correlation between parameters in the group of $\text{CCT} \leq 556 \mu\text{m}$ and $\text{CCT} > 556 \mu\text{m}$.

ściami c.w. mierzonymi tonometrem ICare a grubością rogówki (CCT) ($r = -0,4$, $p < 0,01$) oraz promieniem rogówki (R) ($r = 0,5$, $p < 0,001$), wartość c.w. mierzona aplanatem natomiast wykazała zależność statystyczną z promieniem rogówki ($p < 0,02$), ale nie wykazała korelacji liniowej (tab. II).

Omówienie wyników

Celem projektu badawczego była ocena klinicznej zgodności oraz powtarzalności pomiarów ciśnienia uzyskanych tonometrem ICare w porównaniu z pomiarami uzyskanymi tonometrem Goldmanna u pacjentów z jaskrą i zdrowych osób. ICare jest jedynym komercyjnie dostępnym instrumentem służącym do pomiaru c.w. wykorzystującym zasadę indukcji magnetycznej. Jest urządzeniem o niewielkich rozmiarach, lekkim, przenośnym, łatwym w użyciu, niewymagającym lampy szczelinowej, preparatów znieczulających i fluoresceiny.

Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić dobrą zgodność między pomiarami wykonanymi tonometrem aplanacyjnym a tonometrem ICare. Podobne wyniki uzyskali inni autorzy (1-7).

Porównując wartości c.w. uzyskane dwiema różnymi metodami, stwierdzono, że tonometr ICare nieznacznie zawyżał wynik ciśnienia wewnątrzgałkowego, choć różnice te nie były statystycznie istotne. Średnia różnicy ICare-GAT w grupie jaskrowej wynosiła $1,1 \pm 3,6 \text{ mmHg}$, w grupie kontrolnej natomiast $-1,8 \pm 3,2 \text{ mmHg}$. Podobne wyniki przedstawili Martinez de-la-Casa i wsp. (7), którzy wykazali średnią różnicę wartości ciśnienia mierzonego tonometrem ICare, wynosiła $1,4 \pm 2,7 \text{ mmHg}$. Nakamura i wsp. (8) w swoich badaniach porównujących zgodność pomiarów c.w. wykonanych tonometrem ICare z pomiarami c.w. wykonanymi trzema tonometrami aplanacyjnymi (tonometrami Goldmanna, bezkonaktowym i Tonopenem) wykazali średnią różnicę między pomiarami tonometrem ICare a tonometrem Goldmanna, wynosiła ona $1,4 \pm 2,2 \text{ mmHg}$.

Oceniając stopień rozrzutu w wartościach c.w. uzyskanego dwiema różnymi metodami u wszystkich badanych, stwierdziliśmy, że w 69% badanych przypadków różnica ICare-GAT wynosiła $\pm 0-3 \text{ mmHg}$. Rehnman i Martin (4) przebadali 45 pacjentów i wykazali, że w 78% przypadków różnica w wartościach c.w. wynosiła $\pm 3 \text{ mmHg}$.

Przeprowadzone dotychczas badania wykazały zależność między centralną grubością rogówki (CCT) a wartościami c.w. uzyskanymi tonometrem aplanacyjnym Goldmanna (9-11).

Nasze badanie miało na celu określenie możliwych zależności między grubością rogówki i jej krzywizną a ciśnieniem mierzonym tonometrem ICare. Stwierdzono wyższe wartości c.w. mierzonego tonometrem ICare w grupie grubszych rogówek. Analizując stopień korelacji między CCT a wartościami ciśnienia mierzonego tonometrem ICare, nie wykazano istotnych statystycznie korelacji w grupie pacjentów z cieńszą rogówką (średnia CCT wynosiła $531 \pm 23 \mu\text{m}$). W oczach z grubszą rogówką (średnia CCT wynosiła $578 \pm 17 \mu\text{m}$) natomiast stwierdzono korelację między wartościami c.w. uzyskanymi tonometrem ICare a CCT ($r = -0,4$, $p < 0,01$). Martinez-de-la-Casa i wsp. (7) przeprowadzili badania z udziałem 90 pacjentów (146 oczu), których podzielili na dwie grupy w zależności od grubości rogówki (grupa A, $\text{CCT} < 531 \mu\text{m}$, oraz grupa B, $\text{CCT} > 565 \mu\text{m}$), potwierdzając, że wyższe wartości c.w. mierzonego zarówno tonometrem Goldmanna, jak i tonometrem ICare towarzyszą grub-

szym rogówkom. Nie określili oni jednak korelacji między c.w. mierzonym tonometrem ICare a CCT.

Analizując średni promień rogówki ($7,67 \pm 0,44$ mm) w zależności od jej grubości i pomiaru c.w. dokonanego obiema metodami, nie znaleziono istotnych korelacji w grupie pacjentów z cieńszymi rogówkami ($CCT \leq 556 \mu m$). W grupie grubszych rogówek ($CCT > 556 \mu m$) zaobserwowano istotną statystycznie korelację między wartościami c.w. mierzonymi tonometrem ICare a promieniem rogówki (R) ($r = 0,5, p < 0,001$). Na podstawie tej analizy można uznać, że im grubsza jest rogówka, tym większy jest wpływ geometrii rogówki na pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego. Należy także podkreślić, że konieczne jest wykonywanie pachymetrii u każdego pacjenta. Otrzymane wyniki sugerują, że pomiar ciśnienia jest zdecydowanie bardziej wiarygodny dla $CCT \leq 556 \mu m$, ponieważ nie zależy od parametrów geometrycznych rogówki. Jedynie Sahin i wsp. (12) opublikowali pracę, w której poszukiwali zależności między promieniem rogówki i jej centralną grubością a wartościami c.w. uzyskanymi za pomocą tonometrów ICare oraz Tono-Pen u dzieci. Średnia wartość promienia w tych badaniach wynosiła $7,68 \pm 0,41$ mm i nie znaleziono żadnej korelacji między wymienionymi parametrami, przeciwnie niż wskazują na to nasze wyniki.

Wnioski

Wartości ciśnienia wewnątrzgałkowego uzyskane za pomocą tonometru ICare wykazują dobrą zgodność z pomiarami c.w. wykonanymi tonometrem Goldmanna, chociaż są zależne od grubości rogówki. Tonometr ICare jest urządzeniem łatwym w użyciu i niewymagającym dużego doświadczenia operatora, jest komfortowy dla pacjentów, może służyć w sytuacjach, w których wykonanie tonometrii aplanacyjnej jest niemożliwe lub trudne.

Piśmiennictwo:

1. Kontiola AI: *A new induction-based impact method for measuring intraocular pressure*. Acta Ophthalmologica Scandinavica 2000, 78, 142-145.
2. Brusini P, Salvatet ML, Zeppieri M, Tosoni C, Parisi L: *Comparison of ICare tonometer with Goldmann applanation tonometer in glaucoma patients*. Journal of Glaucoma 2006, 15, 213-217.
3. Pakrou N, Gray T, Mills R, Landers J, Craig J: *Clinical comparison of the ICare tonometer and Goldmann applanation tonometry*. Journal of Glaucoma 2008, 17, 43-47.
4. Rehnman JB, Martin L: *Comparison of rebound and applanation tonometry in the management of patients treated for glaucoma or ocular hypertension*. Ophthal Physiol Opt 2008, 28, 382-386.
5. Davies LN, Bartlett H, Mallen EA, Wolffsohn JS: *Clinical evaluation of rebound tonometer*. Acta Ophthalmologica Scandinavica 2006, 84, 206-209.
6. Van Der Jagt LH, Jansoni NM: *Three portable tonometers, the TGDc-01, the ICare and the Tonopen XL, compared with each other and with Goldmann applanation tonometry*. Ophthalmic and Physiological Optics 2005, 25, 429-435.
7. Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Vico E, Fernandez-Vidal A, Benitez del Castillo JM, Wasfi M, Garcia-Sanchez J: *Effect of corneal thickness on dynamic contour, rebound, and Goldmann tonometry*. Ophthalmology 2006, 113, 2156-2162.
8. Nakamura M, Darhad U, Tatsumi Y, Fujioka M, Kusuhara A, Maeda H, Negi A: *Agreement of rebound tonometer in measuring intraocular pressure with three types of applanation tonometers*. Am J Ophthalmol 2006 Aug, 142(2), 332-334.
9. Stodtmeister R: *Applanation tonometry and correction according to corneal thickness*. Acta Ophthalmol Scandinavica 1998, 76, 319-324.
10. Doughty MJ, Zaman ML: *Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach*. Surv Ophthalmol 2000, 44, 367-408.
11. Whitacre MM, Stein RA, Hassanein K: *The effect of corneal thickness on applanation tonometry*. Am J Ophthalmol 1993, 115, 592-596.
12. Sahin A, Basmak H, Yildirim N: *The influence of central corneal thickness and corneal curvature on intraocular pressure measured by Tono-Pen and rebound tonometer in children*. Journal of Glaucoma 2008, 17, 57-61.

Praca wpłynęła do Redakcji 20.12.2009 r. (1186)
Zakwalifikowano do druku 10.07.2010 r.

Adres do korespondencji (Reprint requests to):

dr n. med. Patrycja Krzyżanowska-Berkowska
Katedra i Klinika Okulistyki AM we Wrocławiu
ul. Chafubińskiego 2a
50-368 Wrocław
e-mail: p_krzyzanowska@wp.pl

**Redakcja kwartalnika medycznego OKULISTYKA
i czasopisma KONTAKTOLOGIA
i OPTYKA OKULISTYCZNA**

e-mail: ored@okulistyka.com.pl