

Dokładność i powtarzalność obiektywnego pomiaru wady refrakcji konwencjonalnym autorefraktometrem, autorefraktometrem otwartego pola oraz aberrometrem u młodych dorosłych



Foto: archiwum Autorki



Foto: archiwum Autora

Mgr JUSTYNA WOSIK, dr hab. JACEK PNIEWSKI
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Streszczenie

W pracy przedstawiono wynik badania dokładności i powtarzalności obiektywnego pomiaru wady refrakcji konwencjonalnym autorefraktometrem Nidek ARK-510A, autorefraktometrem otwartego pola Shin-Nippon NVision-K 5001 oraz aberrometrem Visionix L80 Wave+ u młodych dorosłych. Badanie objęło pomiary refrakcji 51 uczestników (40 kobiet i 11 mężczyzn) w wieku od 19 do 23 lat, bez stosowania cykloplegii. Wykazano, że pomiary z trzech porównywanych urządzeń nie różnią się istotnie statystycznie między sobą. Porównując je z refrakcją subiektywną można zaobserwować, że najwyższą dokładność w pomiarze ekwiwalentu sferycznego zapewnia autorefraktometr otwartego pola. Aberrometr jest najbardziej dokładny w pomiarze osi astygmatyzmu. Konwencjonalny autorefraktometr wypadł pośrednio we wszystkich rozpatrywanych kategoriach. Wszystkie urządzenia dały wyniki wysoce powtarzalne.

Abstract

In this paper, the accuracy and repeatability of noncycloplegic refractive error measurements performed by three autorefractors: conventional Nidek ARK-510A, open-field Shin-Nippon NVision-K 5001 and aberrometer Visionix L80 Wave+, were analyzed. 51 subjects (40 females, 11 males) aged 19–23 were examined. The differences between objective refraction (OR) measured by the autorefractors are not statistically significant. In comparison with subjective refraction (SR), the best agreement in spherical equivalent measurement was provided by the open-field autorefractor. The aberrometer was the best accurate in astigmatism measurement. All three instruments provided high repeatability of measurements.

Wstęp

Autorefraktometry stanowią ważny element wyposażenia gabinetu optometrycznego, a znajomość zasady ich działania oraz charakterystyki pomiarów jest niezbędna do prawidłowej oceny uzyskanego wyniku pomiaru. Od kiedy pojawiły się pierwsze urządzenia, ich dokładność i powtarzalność była analizowana przez wielu badaczy w celu uzyskania informacji ważnych dla użytkowników.

Konwencjonalne autorefraktometry rzutują wiązkę światła podczerwonego na siatkówkę osoby badanej i analizują wiązkę odbitą. Autorefraktometry zamkniętego pola mają wbudowany obiekt obserwacji, który symuluje dal wzrokową poprzez zastosowanie perspektywy linearnej. Część z nich, m.in. analizowany w tym badaniu autorefraktometr Nidek ARK-510A, stosuje też zamglenie, które ma rozluźnić akomodację. Okazuje się jednak, że zabiegi te nie zawsze są wystarczające, by rozluźnić akomodację. Urządzenia zamkniętego pola dają na ogół bardziej ujemną wartość refrakcji, w szczególności u młodych osób. Wynika to z faktu, że fizyczna bliskość urządzenia uruchamia akomodację psychologiczną. Zjawisko to jest określane w literaturze jako *instrument myopia* [1,2]. Urządzenia z otwartym polem obserwacji mają przewagę nad konwencjonalnymi, ponieważ nie tylko pozwalają na obserwację rzeczywistych obiektów na różnych odległościach, ale również na widzenie obuoczne. W efekcie dają zwykle bardziej dodatnią wartość ekwiwalentu sferycznego niż urządzenia z wbudowanym obiektem obserwacji [1,3].

Ocena dokładności i powtarzalności pomiarów autorefraktometrem otwartego pola Shin-Nippon NVision-K 5001 (występującego również pod marką Grand Seiko WAM-5500) wykazała, że pomiary wykonane za pomocą tego urządzenia dają rzetelne i wysoko powtarzalne wyniki zarówno u dorosłych [1,4,5], jak i u dzieci [3]. Aberrometry, w przeciwieństwie do wyżej opisanych urządzeń, mierzą również aberracje wyższych rzędów, analizując front falowy z wykorzystaniem detektora Shacka-Hartmanna [6]. Ostatnie badania wykazały bardzo wysoką dokładność pomiaru astygmatyzmu za pomocą aberrometrów, jednak niższą dokładność w pomiarze ekwiwalentu sferycznego w porównaniu do konwencjonalnych autorefraktometrów [2,6,7].

Autorefraktometry są powszechnie stosowanymi urządzeniami w praktykach okulistycznych i optometrycznych. Wynik pomiaru autorefraktometrem jest zazwyczaj wykorzystywany jako punkt startowy w refrakcji subiektywnej. Ponadto urządzenia te często stosuje się w badaniach przesiewowych wzroku oraz w ocenie wielkości wady refrakcji, gdy nie ma wystarczająco dużo czasu, by wykonać pełne badanie subiektywne. Autorefraktometry są dokładniejsze, gdy w badaniu stosuje się cykloplegię [8,9]. W wielu krajach europejskich, w tym w Polsce, optometryści nie mogą podawać mydriatyków, poza tym taki zabieg uniemożliwia wykonanie pełnego badania optometrycznego, które zawiera badanie widzenia z bliska i akomodacji. Czasem też nie podaje się środków porażających akomodację ze względu na występowanie przeciwwskazań medycznych. U osób młodych, z aktywną akomodacją, prawdopodobne jest, że urządzenia „przekorygują” osobę w minus. Nierzadko zdarza się też, że autorefraktometry wskazują na niewielką krótkowzroczność u młodych osób z niedużą nadwzrocznością. Niepewna jest w tej sytuacji również powtarzalność takich pomiarów, które zależą od stanu akomodacji osoby badanej.

Celem tego badania była ocena dokładności i powtarzalności pomiarów wady refrakcji bez cykloplegii u młodych dorosłych za pomocą trzech różnych autorefraktometrów.

Metody

W badaniu wzięło udział 51 uczestników (40 kobiet i 11 mężczyzn) w wieku od 19 do 23 lat. Wszyscy ochotnicy zostali zakwalifikowani do badania. Założone kryteria wykluczenia to ostrość wzroku co najmniej jednego oka w najlepszej korekcji niższa niż 20/25 lub jakakolwiek patologia narządu wzroku. Każdy z uczestników wyraził pisemną zgodę na udział w badaniu, po dokładnym wyjaśnieniu konceptu i możliwych konsekwencji udziału w badaniu.

W badaniu porównano pomiar refrakcji obiektywnej (OR, *objective refraction*), wykonany za pomocą konwencjonalnego autorefraktometru Nidek ARK-510A, aberrometru Visionix L80 Wave+ oraz autorefraktometru otwartego pola Shin-Nippon NVision-K 5001, z refrakcją subiektywną (SR, *subjective refraction*). Każdemu uczestnikowi zmierzono wadę refrakcji obu oczu za pomocą trzech urządzeń bez cykloplegii. Kolejność urządzeń była losowa. Wszystkie pomiary zostały wykonane podczas jednej sesji w warunkach jednorodnego i umiarkowanego oświetlenia. Wszystkie urządzenia mierzyły wadę refrakcji w takiej samej płaszczyźnie, która jest zgodna z pozycją oprawy próbnej. Podczas pomiaru konwencjonalnym autorefraktometrem i aberrometrem uczestnik był poinstruowany, by patrzeć na wbudowany obiekt fiksacji. W przypadku autorefraktometru NVision-K 5001 uczestnik obserwował najmniejszy, czytelny dla niego optotyp lub – jeśli ostrość wzroku bez korekcji była niższa niż 0,1 – punkt świetlny. Pomiar tym urządzeniem był wykonany w warunkach obserwacji obuocznej. Pomiar aberrometrem był wykonany automatycznie. W tym trybie L80 Wave+ przedstawia już uśredniony wynik pomiaru. W przypadku pozostałych dwóch autorefraktometrów w jednej sesji wykonano od trzech do pięciu pomiarów.

W następnej sesji przeprowadzono subiektywne badanie refrakcji (SR). Optometrysta wykonujący badanie nie znał wyników pomiarów autorefraktometrycznych. Punktem początkowym była skiaskopia statyczna. Końcowym kryterium była maksymalnie dodatnia lub minimalnie ujemna moc dla najlepszej ostrości wzroku. Po korekcji każdego oka wykonano balans obuoczny i zweryfikowano obuocznie wartość sfery. By ocenić powtarzalność pomiarów, zbadano różnicę wyników OR za pomocą trzech urządzeń w trzech kolejnych sesjach u sześciu uczestników. Każdy z trzech pomiarów był wykonany w odstępie siedmiu dni od poprzedniego.

By móc zanalizować wyniki, tradycyjną formę zapisu wady refrakcji (sfera, cylinder, oś) przeliczono na moce wektorowe [10]: ekwiwalent sferyczny (SE, *spherical equivalent*) oraz dwa komponenty wektorowe skrzyżowanego cylindra Jacksona, w osi 0° (J_0) i w osi 45° (J_{45}), zgodnie z poniższymi równaniami, gdzie α to oś cylindra:

$$SE = \text{sfera} + \frac{\text{cylinder}}{2},$$

$$J_0 = -\frac{\text{cylinder}}{2} \cos(2\alpha),$$

$$J_{45} = -\frac{\text{cylinder}}{2} \sin(2\alpha).$$

Analizę statystyczną przeprowadzono w programie Statsoft Statistica, wersja 13.3. Porównanie wyników z trzech urządzeń oraz ocenę powtarzalności przeprowadzono za pomocą analizy wariancji (ANOVA). Porównanie SR i OR przeprowadzono za pomocą testu t-Studenta lub testu kolejności par Wilcozona (dla danych nieparametrycznych) z korektą Bonferroniego dla wielokrotnych porównań (kryterium statystycznej istotności $p < 0,017$).

Wyniki

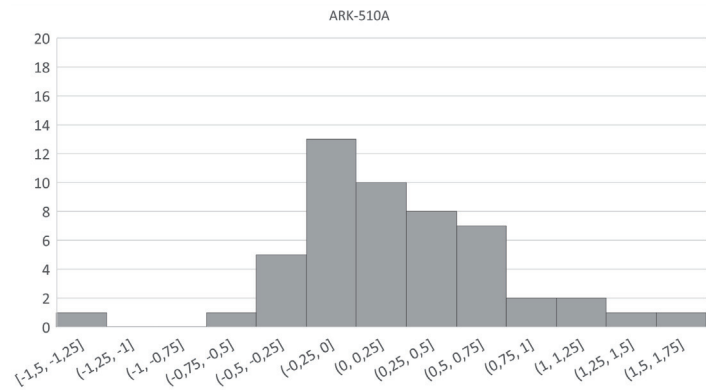
Ekwiwalent sferyczny subiektywnie wyznaczonej wady refrakcji 102 oczu mieścił się w zakresie od $-9,63D$ do $+2,75D$ (średni SE = $-1,40 \pm 2,28D$). Maksymalna wartość cylindra to $-2,50D$. Wyniki refrakcji obiektywnej są przedstawione w tabeli 1. Dwuczynnikowa analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami wykazała, że różnice między wynikami uzyskanymi przez autorefraktometry dla wszystkich czterech parametrów refrakcji nie są istotne statystycznie (parametr p przedstawiony w tabeli 1).

	ARK-510A	NVision-K 5001	L80 Wave+	p
Średni SE	$-1,67 \pm 2,23$	$-1,24 \pm 2,15$	$-1,76 \pm 2,33$	0,22
Zakres SE	$<-10,75; 2,38>$	$<-9,81; 1,13>$	$<-12,00; 2,56>$	
Średni cylinder	$-0,67 \pm 0,62$	$-0,63 \pm 0,56$	$-0,66 \pm 0,63$	0,90
Zakresy mocy cylindra	$<-3,25; 0,00>$	$<-2,75; 0,00>$	$<-3,50; -0,13>$	
Średnie J_0	$0,179 \pm 0,377$	$0,143 \pm 0,350$	$0,119 \pm 0,391$	0,51
Zakres J_0	$<-0,873; 1,455>$	$<-0,810; 1,297>$	$<-0,998; 1,723>$	
Średnie J_{45}	$0,013 \pm 0,190$	$0,039 \pm 0,181$	$0,005 \pm 0,204$	0,42
Zakres J_{45}	$<-0,763; 0,861>$	$<-0,526; 0,847>$	$<-0,688; 1,079>$	

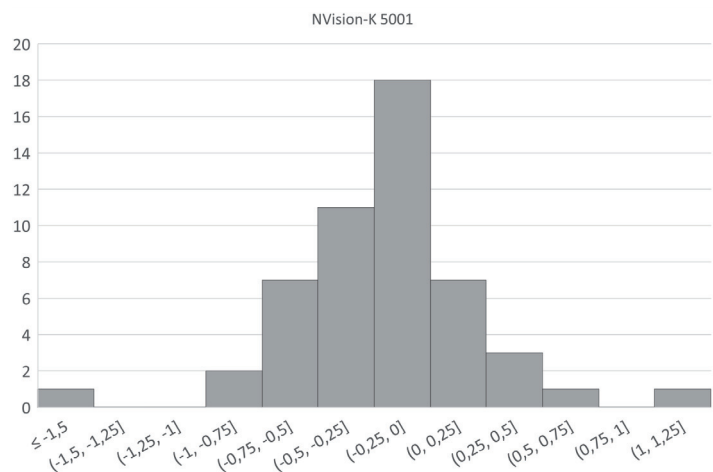
Tab. 1. Porównanie średnich wartości i odchyłeń standardowych parametrów refrakcji uzyskanych przez autorefraktometry (N = 102)

Wyniki pomiarów wady refrakcji prawego i lewego oka były silnie ze sobą skorelowane (współczynnik korelacji Spearmana równy 0,956; 0,932; 0,931; kolejno dla ARK-510A, NVision-K 5001 i L80 Wave+). W związku z tym analizie porównawczej OR i SR poddano wyniki tylko prawego oka. Ryciny 1–3 przedstawiają histogram różnic między SE uzyskanym w refrakcji subiektywnej i obiektywnej. Można zaobserwować, że autorefraktometr otwartego pola dał wyniki bardziej nadzwyczajne niż refrakcja subiektywna. Autorefraktometr konwencjonalny i aberrometr dały bardziej krótkowzroczne wyniki niż SR, co wskazuje na zjawisko krótkowzroczności instrumentalnej (*instrument myopia*). Różnica i odchylenie standardowe między SR i OR są najmniejsze dla autorefraktometru NVision-K 5001 ($-0,18 \pm 0,42$), nieco wyższe dla ARK-510A ($0,25 \pm 0,53$), a największe dla L80 Wave+ ($0,34 \pm 0,55$). Niemniej jednak różnice dla wszystkich urządzeń były istotne statystycznie ($p = 0,0004; 0,0008; 0,000004$ kolejno dla ARK-510A, NVision-K 5001 i L80 Wave+).

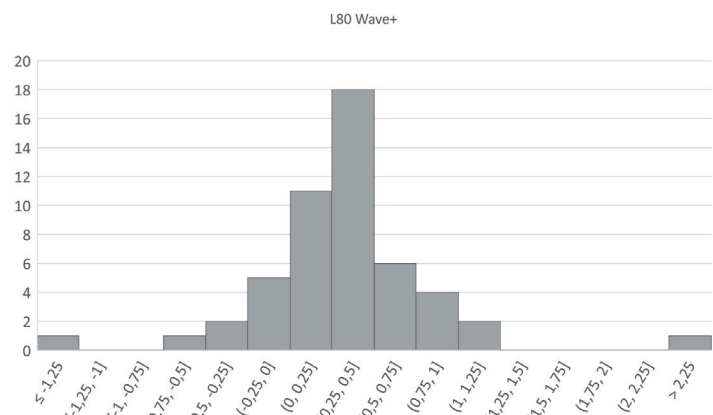
Średnie różnice i odchylenia standardowe między SR i OR dla parametru J_0 wynosiły $-0,0874 \pm 0,1789$ dla ARK-510A, $-0,0558 \pm 0,1854$ dla NVision-K 5001 i $-0,0297 \pm 0,1770$ dla L80 Wave+, a dla parametru J_{45} $-0,0049 \pm 0,1186$ dla ARK-510A, $-0,0282 \pm 0,1382$ dla NVision-K 5001 i $-0,0003 \pm 0,1319$ dla L80 Wave+. Różnice między komponentami J_0 i J_{45} uzyskanymi w SR i OR są najmniejsze dla aberrometru. Różnice te nie są istotne statystycznie. W przypadku komponentu J_0 ARK-510A dał największą, istotną statystycznie różnicę, natomiast w przypadku komponentu J_{45} największą



Ryc. 1. Histogram różnic między SE uzyskanym w SR i w pomiarze autorefraktometrem ARK-510A. Średnia różnica $0,25 \pm 0,53$



Ryc. 2. Histogram różnic między SE uzyskanym w SR i w pomiarze autorefraktometrem NVision-K 5001. Średnia różnica $0,18 \pm 0,42$



Ryc. 3. Histogram różnic między SE uzyskanym w SR i w pomiarze aberrometrem L80 Wave+. Średnia różnica $0,34 \pm 0,55$

różnicę, ale nieistotną statystycznie, dał NVision-K 5001. Wszystkie trzy urządzenia dały wynik astygmatyzmu bardziej przeciwnego regule w porównaniu do refrakcji subiektywnej (ujemna wartość parametru J_0).

Powtarzalność pomiarów można analizować, porównując kolejne odczyty refrakcji zmierzone w jednej sesji pomiarowej, które urządzenie automatycznie uśrednia oraz porównując wyniki pomiarów uzyskanych w osobnych sesjach pomiarowych. Pierwszą powtarzalność można określić jako wewnątrzsesyjną (ang. *intrasession repeatability*). Powtarzalność wewnątrzsesyjną zbadano poprzez porównanie średniego odchylenia standardowego parametrów refrakcji uzyskanych w trzech odczytach refrakcji z jednej sesji pomiarowej u 30 losowo wybranych uczestników. Analizy tej nie wykonano dla aberrometru ze względu na to, że urządzenie to wydaje



VERMARI[®]
EYEWEAR



ZAPRASZAMY

TARGI OPTYKA 2019

POZIOM 7, STOISKO FOYER 7.38

wyłącznie średnią, a nie przedstawia wszystkich odczytów, tak jak typowe autorefraktometry. Średnie odchylenia standardowe przedstawione są w tabeli 2. Autorefraktometr otwartego pola jest bardziej powtarzalny w pomiarze sfery i ekwiwalentu sferycznego, gorzej wypada w pomiarze astygmatyzmu.

	sfera	cylinder	ES	J_0	J_{45}
ARK-510A	0,17	0,09	0,17	0,0469	0,0362
NVision-K 5001	0,12	0,15	0,10	0,0810	0,0630

Tab. 2. Średnie odchylenia standardowe z trzech odczytów automatycznego pomiaru wady refrakcji w jednej sesji pomiarowej

Powtarzalność pomiaru refrakcji między trzema cotygodniowymi sesjami zbadano za pomocą analizy wariancji z powtarzaniem pomiarami. Test ANOVA wykazał wysoką powtarzalność pomiaru, ponieważ różnice między kolejnymi pomiarami nie były istotne statystycznie dla ES ($p = 0,59; 0,09; 0,08$; kolejno dla ARK-510A, NVision-K 5001 i L80 Wave+), J_0 ($p = 0,92; 0,50; 0,60$; kolejno dla ARK-510A, NVision-K 5001 i L80 Wave+) oraz J_{45} ($p = 0,98; 0,38; 0,60$; kolejno dla ARK-510A, NVision-K 5001 i L80 Wave+). Średnie odchylenia standardowe analizowanych parametrów refrakcji dla wszystkich trzech urządzeń są przedstawione w tabeli 3. Z tabeli wynika, że najbardziej powtarzalny jest L80 Wave+.

	sfera	cylinder	ES	J_0	J_{45}
ARK-510A	0,11	0,07	0,13	0,1355	0,0425
NVision-K 5001	0,14	0,12	0,13	0,0464	0,0725
L80 Wave+	0,07	0,06	0,07	0,0365	0,0288

Tab. 3. Średnie odchylenia standardowe automatycznego pomiaru refrakcji z trzech sesji pomiarowych

Bardziej dokładna i wnikliwa analiza dokładności pomiaru wady refrakcji omawianymi urządzeniami jest opisana w artykule [11].

Dyskusja i wnioski

Nasze badania wskazują, że pomiary z trzech porównywanych urządzeń nie różnią się istotnie między sobą. Porównując je z refrakcją subiektywną można zaobserwować, że najwyższą dokładność w pomiarze ekwiwalentu sferycznego zapewnia autorefraktometr otwartego pola. Urządzenie to daje bardziej nadwzroczny wynik niż refrakcja subiektywna, dlatego wydaje się być odpowiednie do stosowania w badaniach przesiewowych wzroku osób młodych. Podobne wyniki uzyskali Mallen i wsp. ($0,16 \pm 0,44D$) [4]. Oba urządzenia z wbudowanym obiektem obserwacji dały bardziej krótkowzroczne wyniki niż SR, czego przyczyną jest krótkowzroczność instrumentalna. ARK-510A, prawdopodobnie ze względu na zastosowanie zamglenia, dał nieco mniej krótkowzroczne wyniki niż L80 Wave+. Podobne wyniki uzyskał Bennett, porównując konwencjonalny autorefraktometr z aberrometrem [7]. Aberrometr okazał się najbardziej dokładnym urządzeniem w pomiarze astygmatyzmu. Najstabilniej w tym aspekcie wypadł autorefraktometr NVision-K 5001. W naszej pracy przedstawiającej najbardziej dokładną analizę powyższych wyników zaprezentowaliśmy, że aberrometr jest również najbardziej dokładny w pomiarze osi cylindra. W przypadku astygmatyzmu większego lub równego $0,75D$, różnica między osią uzyskaną w OR i SR w 76% przypadków była mniejsza lub równa 5° [11].

Analizując powtarzalność pomiarów tymi trzema urządzeniami można ponownie zaobserwować, że autorefraktometr otwartego pola zapew-

nia dokładniejszy i bardziej powtarzalny pomiar ekwiwalentu sferycznego, natomiast mniej rzetelnie mierzy astygmatyzm. Bardzo podobne wartości średnich odchyleni standardowych sfery ($0,14D$), ekwiwalentu sferycznego ($0,13D$), mocy cylindra ($0,16D$) oraz komponentów cylindra skrzyżowanego Jacksona ($0,08$ dla J_0 i $0,07$ dla J_{45}) uzyskali Mallen i wsp. [4]. Podobne wyniki uzyskali również Davies i wsp. [5]. Okazało się, że najbardziej powtarzalne wyniki zapewnia aberrometr, zarówno w pomiarze ES, jak i komponentów cylindrycznych. Shneor i wsp. w ocenie dokładności i powtarzalności pomiarów aberrometrem L80 Wave+ uzyskali wyższe wartości odchyleni standardowych analizowanych parametrów refrakcji niż w naszym badaniu, ale i tak były one niższe od tych uzyskanych pozostałymi dwoma urządzeniami [6]. Rubin i Harris badali powtarzalność pomiarów autorefraktometrycznych za pomocą konwencjonalnego autorefraktometru. Przeprowadzili też pomiary refrakcji na modelu oka. Okazuje się, że urządzenia automatycznie mierzące refrakcję są precyzyjne i zmienność w kolejnych pomiarach wynika z dynamiki stanu refrakcyjnego oka, a nie z defektu czy ograniczeń samego przyrządu. Badacze wskazali kilka profili zmienności wady refrakcji, pokazując, że na wynik pomiaru ma wpływ nie tylko akomodacja, ale również napięcie powiek. Zaproponowali też, że akomodacja może wpływać nie tylko na pomiar sfery, ale zmieniać również wartość cylindra [12]. Okazuje się więc, że badając powtarzalność, analizujemy zachowanie oka podczas badania danym urządzeniem, a niekoniecznie precyzję pomiaru. Podejrzewać można, że niższa powtarzalność autorefraktometru otwartego pola wynika z możliwości obserwacji otaczającego środowiska, co może zwiększać dynamikę zmian. W dodatku w tym urządzeniu jest większe prawdopodobieństwo wykonywania pomiaru nie w osi widzenia, ze względu na możliwość rozglądania się.

Podsumowując, wszystkie trzy urządzenia zapewniają rzetelny pomiar OR. Autorefraktometr otwartego pola eliminuje efekt krótkowzroczności instrumentalnej, dlatego może być preferowanym urządzeniem w badaniu dzieci czy badaniach przesiewowych. Aberrometr może być lepszym wyborem, by wyznaczyć punkt początkowy do refrakcji subiektywnej, jednak należy pamiętać, że urządzenie to ma tendencję do zawyżania ujemnej korekcji lub zaniżania dodatniej. Konwencjonalny autorefraktometr wypadł pośrednio we wszystkich rozpatrywanych kategoriach, więc jest rozwiązaniem najbardziej uniwersalnym.

Piśmiennictwo

1. A.L. Sheppard, L.N. Davies. Clinical evaluation of the Grand Seiko Auto Ref/Keratometer WAM-5500. *Ophthalmic and Physiological Optics* 30(2)2010: 143–151
2. J. Cooper, K. Citek, J.M. Feldman. Comparison of refractive error measurements in adults with Z-View aberrometer, Humphrey autorefractor, and subjective refraction. *Optometry* 82(4)2011: 231–240
3. S.W. Chat, M.H. Edwards. Clinical evaluation of the Shin-Nippon SRW-5000 autorefractor in children. *Ophthalmic and Physiological Optics* 21(2)2001: 87–100
4. E.A. Mallen, J.S. Wolffsohn, B. Gilmartin, S. Tsujimura. Clinical evaluation of the Shin-Nippon SRW-5000 autorefractor in adults. *Ophthalmic and Physiological Optics* 21(2)2001: 101–107
5. L.N. Davies, E.A.H. Mallen, J.S. Wolffsohn, B. Gilmartin. Clinical evaluation of the Shin-Nippon NVision-K 5001/Grand Seiko WR-5100K autorefractor. *Optometry and Vision Science* 80(4)2003: 320–324
6. E. Shneor, M. Millodot, O. Avraham, S. Amar, A. Gordon-Shaag. Clinical evaluation of the L80 autorefractometer. *Clinical and Experimental Optometry* 95(1)2012: 66–71
7. J.R. Bennett, G.M. Stalboerger, D.O. Hodge, M.M. Schornack. Comparison of refractive assessment by wavefront aberrometry, autorefractor, and subjective refraction. *Journal of Optometry* 8(2)2015: 109–115
8. A. Fotouhi, I.G. Morgan, R. Iribarren, M. Khabazkhoob, and H. Hashemi. Validity of noncycloplegic refraction in the assessment of refractive errors: the Tehran Eye Study. *Acta Ophthalmol Jun.* 2012, vol. 90, no. 4: 380–386
9. H. Hashemi, M. Khabazkhoob, A. Asharous, S. Soroush, A. Yekta, N. Dabbin, A. Fotouhi. Cycloplegic autorefractor versus subjective refraction: the Tehran Eye Study. *The British Journal for Ophthalmology* 100(8)2016: 1122–1127
10. L.N. Thibos, W. Wheeler, D. Horner. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optometry and Vision Science* 74(6)1997: 367–375
11. J. Wosik, M. Patrzykont, J. Pniwski. Comparison of refractive error measurements by three different models of autorefractors and subjective refraction in young adults. *Journal of the Optical Society of America A* 36(4)2019: B1–B6
12. A. Rubin, W.F. Harris. Refractive variation during autorefractor: multivariate distribution of refractive status. *Optometry and Vision Science* 72(6)1995: 403–410