

Wpływ warunków oświetlenia i częściowej filtracji światła niebieskiego na wyniki testu widzenia barwnego Farnswortha-Munsella 100 Hue

KAROLINA ŻAGLEWSKA*, dr hab. MAREK KOWALCZYK-HERNÁNDEZ
Zakład Optyki Informacyjnej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Streszczenie

W poniższym artykule przedstawiono wyniki doświadczenia, w którym na 19-osobowej grupie pacjentów zbadano wpływ rodzaju oświetlenia oraz stosowania soczewek pokrytych powłoką Hi-Vision LongLife BlueControl na wyniki testu Farnswortha-Munsella 100 Hue. Wykazano znaczącą różnicę pomiędzy całkowitą sumą błędów popełnianych przez osoby z normalnym widzeniem barwnym w warunkach oświetlenia źródłem typu D65 i w warunkach oświetlenia źródłem TL84, przy którym pacjenci mylili się istotnie częściej. Filtr chroniący przed szkodliwym działaniem promieniowania niebieskiego na tkanki oka nie wpłynął w sposób istotny na zdolność rozróżniania barw u tych badanych.

Wstęp

W ludzkiej siatkówce oka występują trzy rodzaje fotoreceptorów (komórek zdolnych do przetwarzania energii świetlnej w energię elektrycznych impulsów nerwowych): pręciki, czopki [1] i światłoczułe komórki zwojowe. Te ostatnie odpowiedzialne są za nieobrazowe funkcje oka [2]. Pręciki umożliwiają widzenie w warunkach słabego oświetlenia (skotopowych), w których nie posiadamy zdolności rozróżniania barw. Za widzenie w warunkach jasnego oświetlenia (fotopowych) oraz percepcję barw odpowiedzialne są czopki. U typowego osobnika wyodrębniamy trzy rodzaje czopków: S – najbardziej wrażliwe na światło widzialne o krótkiej długości fali (niebieskie), M – reagujące szczególnie na światło widzialne o średniej długości fali (zielone) oraz L – najbardziej wrażliwe na dłuższe fale z zakresu widma światła widzialnego (czerwone) [3].

O zaburzeniu widzenia barwnego mówimy, gdy w siatkówce nie wykształciły się wszystkie rodzaje komórek światłoczułych lub ich działanie jest upośledzone. Monochromatyzm (achromatopsja) jest to rzadki przypadek, w którym pacjent posiada tylko jeden rodzaj fotoreceptorów. Dichromatyzmem nazywane są trzy rodzaje zaburzeń: deuteranopia – brak czopków typu M,

Abstract

The results of the experiment in which 19 patients were examined by means of Farnsworth-Munsell 100 Hue test are presented in the article below. It has been shown that for normal trichromats the total error score (TES) depends on the illumination spectrum. For the TL 84 type lamp the TES is notably higher than for the D65 type. In second experiment the patients worn spectacles with the Hoya Hi-Vision LongLife BlueControl lens coating. As it turned out, selective filtration of the harmful blue light did not affect significantly the results of the Farnsworth-Munsell 100 Hue test.

protanopia – brak czopków typu L i tritanopia – brak czopków typu S. Anomalny trichromatyzm, związany ze zmianą rozkładu czułości widmowej jednego z czopków, można podzielić na: deuteranomalię – widmo absorpcji barwnika światłoczułego w czopkach M przesunięte jest w kierunku dłuższych fal, protanomalię – widmo absorpcji barwnika w czopkach L przesunięte w kierunku krótszych fal oraz tritanomalię – zmienione widmo absorpcji pigmentu w czopkach S [3].

Test Farnswortha-Munsella 100 Hue (F-M 100 Hue) pozwala na bardzo dokładne określenie zdolności rozróżniania barw u osób z normalnym widzeniem barwnym oraz wykrycie zaburzeń widzenia barwnego [4]. Znajduje on wiele zastosowań zarówno w medycynie, jak i przemyśle. Może być używany m.in. przy rekrutacji pracowników, od których wymagana jest dobra zdolność rozróżniania barw, kontroli wiarygodności nowych testów widzenia barwnego lub do badania wpływu leków na widzenie barwne [5]. Jest również preferowanym narzędziem do określenia zniekształcenia barw pojawiającego się przy obserwacji w świetle kolorowym [6].

Opis procedury wykonywania testu F-M 100 Hue zawiera dokładne wytyczne dotyczące warunków oświetlenia [5]. Badania

pokazują, że mają one szczególne znaczenie przy wykrywaniu nabytego zaburzenia widzenia barwnego towarzyszącego retinopatii cukrzycowej [7]. W innym eksperymencie wykazano znaczące pogorszenie wyników testu wykonywanego przy oświetleniu żółtym w porównaniu do oświetlenia światłem białym [6]. W artykule opisujemy doświadczenie, w którym badana jest różnica pomiędzy wynikami testu F-M 100 Hue uzyskanymi przy użyciu przeznaczonego do wykonywania testów widzenia barwnego źródła światła D65 a wynikami uzyskanymi przy popularnej lampie fluorescencyjnej TL84.

Barwniki fotoczułe w oku ludzkim absorbują fotony pochodzące z wąskiego zakresu widma fal elektromagnetycznych, te mianowicie, które odpowiadają falom o długości od około 380 nm do około 700 nm [3]. Szczególną uwagę badaczy przykuwają obecnie fale o długości od 380 do 480 nm, lokujące się w widmie widzialnym w obszarze odpowiadającym różnym odcieniom światła niebieskiego. Są one w znaczących ilościach emitowane przez ekrany urządzeń cyfrowych, z którymi większość dorosłych ma styczność przez ponad pięć godzin dziennie [8]. Nadmierna ekspozycja na strumień wysokoenergetycznych fotonów światła niebieskiego niesie ze sobą zwiększone ryzyko wystąpienia zwyrodnienia plamki żółtej związanego z wiekiem (*Age-Related Macular Degeneration*, AMD), jednej z głównych przyczyn utraty wzroku w krajach rozwiniętych. Nowoczesnym rozwiązaniem chroniącym oczy przed takim promieniowaniem jest filtr selektywny absorbujący lub odbijający tylko w zakresie fal o udowodnionym toksycznym działaniu na komórki siatkówki, tj. w zakresie 415–455 nm [9]. Na rynku dostępne są soczewki z powłokami antyrefleksyjnymi, charakteryzujące się wyższym współczynnikiem odbicia dla tego zakresu promieniowania [8].

Maksimum absorpcji barwnika światłoczułego w czopkach S znajduje się w zakresie światła niebieskiego [3]. Ograniczenie dostępu fal z tej części spektrum do siatkówki poprzez użycie filtru żółtego może wywołać efekt podobny do tritanopii [8]. Dotychczas przeprowadzone zostały badania nad blokującą światło niebieskie soczewką wewnątrzgałkową AcrySof Natural firmy Alcon. Nie wykazały one negatywnego wpływu filtracji na widzenie barwne [10]. Ze względu na rosnącą popularność powłok antyrefleksyjnych chroniących użytkowników przed potencjalnie szkodliwym światłem niebieskim, podczas doświadczenia dokonano oceny wpływu uszlachetnionych w ten sposób soczewek okularowych na zdolność rozróżniania barw. Według wiedzy autorów, do tej pory podobne badania nie były przeprowadzane.

Materiał i metody

Zestaw do przeprowadzania testu F-M 100 Hue składa się z 93 ponumerowanych, barwnych krążków, umieszczonych w czterech pudełkach w kształcie rynienek (ryc. 1). Pozycja skrajnych krążków jest z góry ustalona i występują one w dwóch egzemplarzach. Przedostatni krążek każdego rzędu jest jednocześnie pierwszym krążkiem następnego. Zmianom kolejności ułożenia

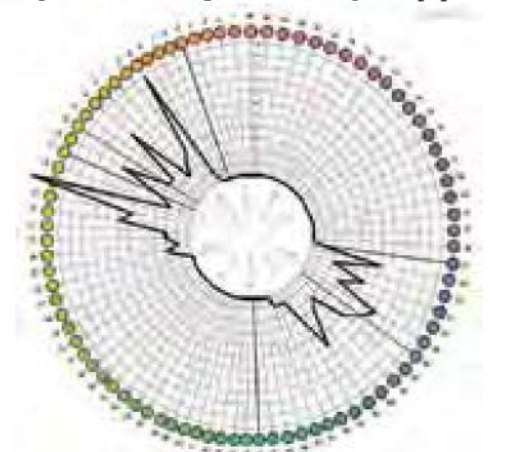
podlega tylko 85 pozostałych krążków. Zadaniem badanego jest uporządkować krążki ułożone w rynience w kolejności losowej (zawierającej jedynie dwa krążki skrajne usytuowane prawidłowo), w taki sposób, aby dostrzegalna różnica barw pomiędzy sąsiednimi krążkami była jak najmniejsza [5].



Ryc. 1. Prawidłowo ułożony zestaw testowy

Dla każdego krążka obliczana jest wartość błędu, czyli suma bezwzględnych wartości różnic między jego numerem a numerami dwóch sąsiadujących krążków. Minimalny wynik (prawidłowe ustawienie) wynosi 2. Obliczone błędy dla poszczególnych krążków nanosi się na wykres w przeznaczonym do tego obszarze karty wyników (ryc. 2). Okrąg najbliższy środkowi odpowiada wartości błędu 2, czyli prawidłowemu wykonaniu testu [5]. U osób dotkniętych zaburzeniami widzenia barwnego największą błędów występuje w dwóch leżących naprzeciwko siebie obszarach wykresu. Charakterystyczne dla protanopii i protanomalii jest niewłaściwe ułożenie krążków o numerach od 14 do 24 i od 57 do 72, dla deuteranopii i deuteranomalii mylone są krążki o numerach od 12 do 22 i od 52 do 64, a dla tritanopii i tritanomalii krążki o numerach od 80 do 9 i od 42 do 54 [4]. Przy pomocy tego testu nie jest możliwe odróżnienie dichromatyzmu od występującego w tej samej osi anomalnego trichromatyzmu [3].

Całkowity błąd (*Total Error Score*, TES) obliczany zostaje poprzez zsumowanie błędów dla wszystkich krążków z tym, że prawidłowe ustawienie liczone jest tutaj jako 0 – od wyniku każdego krążka należy odjąć 2. Znając wartość TES



Ryc. 2. Przykładowy wykres błędów dla osoby z deuteranopią lub deuteranomalią

pacjenta z normalnym widzeniem barwnym możemy określić, czy jego zdolność rozróżniania barw jest na bardzo wysokim, przeciętnym czy niskim poziomie. Wynik od 0 do 16 wskazuje na bardzo dobrą percepcję barw. Przeciętne widzenie barwne mają osoby z TES w zakresie od 20 do 100. Zdarzają się pacjenci, którzy uzyskują wartości błędów wyższe od 100, ale błędy te nie

układają się w konkretnej osi jak w przypadku dichromatyzmu. Są to osoby bez zaburzenia widzenia barwnego, o niskiej zdolności rozróżniania barw [5]. Przyjmuje się, że TES powyżej 500 oznacza całkowity brak widzenia barwnego. W niektórych sytuacjach warto podać też częściowy błąd (*Total Partial Error Score*, TPES), obliczany według takiej samej zasady jak TES, ale osobno dla dwóch grup krążków. Suma błędów dla krążków o numerach od 13 do 33 i od 55 do 75 odzwierciedla zaburzenia percepcji barw w osi czerwono-zielonej (*Red-Green*, R-G), a osi żółto-niebieskiej (*Blue-Yellow*, B-Y) odpowiadają krążki o numerach od 1 do 12, od 34 do 54 i od 76 do 85 [11].

Doświadczenie przeprowadzono przy użyciu kabiny świetlnej ColorCab 5. Z dostępnych w urządzeniu typów oświetlenia wykorzystano dwa rodzaje – D65 oraz TL84. Lampy fluorescencyjne D65 o spektrum emisyjnym przypominającym światło dzienne są standardowym źródłem światła do testów widzenia barwnego [7]. Oznaczenia TL84 używa się dla trójfosforowych lamp fluorescencyjnych powszechnie stosowanych jako oświetlenie w europejskich sklepach detalicznych [12].

Obok wpływu oświetlenia na wyniki testu F-M 100 Hue, badany był również wpływ selektywnych filtrów ograniczających dostęp światła niebieskiego do siatkówki i mających chronić siatkówkę przed szkodliwymi skutkami napromieniowania tym światłem. Przykładem takiego filtra jest powłoka antyrefleksyjna Hi-Vision LongLife BlueControl (HVL-BC), oferowana przez firmę Hoya. Dla potrzeb doświadczenia, parę soczewek o zerowej mocy wykonanych z materiału CR39, pokrytych powłoką HVL-BC, umieszczono w dużej, metalowej oprawie okularowej zapewniającej szerokie pole widzenia.

W badaniu udział wzięto trzynastcie kobiet i sześciu mężczyzn w przedziale wiekowym od 19 do 66 lat. Ekwiwalent sferyczny wady refrakcji uczestników mieścił się w przedziale od -3 dioptrii do +2,75 dioptrii, a astygmatyzm nie przekraczał 1,25 dioptrii. Uczestnicy wykonywali test bez korekcji lub korzystali z korekcji soczewkami kontaktowymi.

Każdy z uczestników wykonywał test F-M 100 Hue cztery razy: przy oświetleniu D65 (D65), przy oświetleniu D65 w okularach z filtrem HVL-BC (D65 + BC) i analogicznie w oświetleniu TL84 bez okularów (TL84) oraz w okularach (TL84 + BC). Aby wyeliminować ewentualny wpływ efektu uczenia na wyniki, kolejność czterech warunków badania była losowana przez badanego. Test przeprowadzano obucownie.

Wyniki i dyskusja

Szesnastu uczestników wykazywało bardzo dobrą lub przeciętną zdolność rozróżniania barw. Zdolność rozróżniania barw u jednej z osób była niska, ale bez określonej osi występowania błędów, więc badanego zaliczono do grupy bez zaburzeń widzenia barwnego. Analizie statystycznej poddano siedemnaście wyników TES. Próba nie spełniała warunków rozkładu normalnego, dlatego do porównania wartości uzyskanych w dwóch oświetle-

niach i określenia wpływu filtra HVL-BC na liczbę popełnianych przez uczestników błędów zastosowano test Wilcozona dla par obserwacji. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

a.			b.			c.		
l.p.	D65	TL84	l.p.	D65	D65+BC	l.p.	TL84	TL84+BC
1	16	20	1	16	4	1	20	28
2	44	48	2	44	64	2	48	67
3	36	40	3	36	28	3	40	32
4	8	4	4	8	4	4	4	8
5	28	72	5	28	20	5	72	16
6	24	20	6	24	4	6	20	8
7	4	12	7	4	8	7	12	8
8	8	28	8	8	4	8	28	16
9	88	90	9	88	51	9	90	101
10	8	8	10	8	24	10	8	28
11	24	16	11	24	0	11	16	12
12	0	4	12	0	0	12	4	4
13	0	4	13	0	0	13	4	4
14	4	12	14	4	8	14	12	8
15	4	8	15	4	4	15	8	8
16	44	64	16	44	36	16	64	60
17	136	186	17	136	215	17	186	147
Wilcoxon: p=0,01692			Wilcoxon: p=0,3950			Wilcoxon: p=0,3483		

Tab. 1. Porównanie wartości TES uzyskanych przez normalnych trichromatów: a) w oświetleniach D65 i TL84; b) w oświetleniu D65 i D65 z obserwacją testu przez okulary z powłoką HVL-BC; c) w oświetleniu TL84 i TL84 z obserwacją testu przez okulary z powłoką HVL-BC

Istotną statystycznie ($p < 0,05$) różnicę zauważono pomiędzy wartościami TES uzyskanymi w oświetleniach D65 i TL84. Analizując poszczególne przypadki, można dostrzec pogorszenie zdolności rozróżniania barw w oświetleniu TL84 w porównaniu do D65. Fakt ten zgodny jest z założeniami stojącymi za definicją *color rendering index*, miary określającej zdolność źródła światła do oddawania barw – im widmo emisyjne źródła bardziej przypomina widmo naturalnego światła dziennego, tym lepiej oddaje ono barwy [13].

Stosowanie soczewek okularowych pokrytych powłoką HVL-BC przez osoby z normalnym widzeniem barwnym nie wpłynęło na wyniki testu w sposób istotny statystycznie. W przeprowadzonych dotychczas badaniach nad soczewką wewnątrzgałkową z filtrem światła niebieskiego również nie odnotowano znaczącego wpływu filtracji tej części spektrum na widzenie barwne [10].

Wyników dwóch osób nie wzięto pod uwagę w analizie statystycznej. Wykresy błędów jednej z nich wskazywały na deuteranomalię lub deuteranopię. W drugim przypadku wartości TES były bardzo wysokie i zaistniało podejrzenie o braku widzenia barwnego u badanego. W tabeli 2 umieszczono wartości błędów uzyskane przez osoby z zaburzeniami widzenia barwnego. Oprócz TES uwzględniono również TPES osobno dla osi R-G i B-Y. W tych przypadkach wyniki dla poszczególnych warunków badania podano w kolejności, w której uczestnicy wykonywali test.

a. oświetlenie:	1. TL84	2. D65	3. D65+BC	4. TL84+BC
TPES R-G	152	88	68	95
TPES B-Y	15	56	18	22
TES	167	144	86	117

b. oświetlenie:	1. D65	2. TL84+BC	3. D65+BC	4. TL84
TPES R-G	138	167	149	339
TPES B-Y	122	155	197	257
TES	260	322	346	596

Tab. 2. Wyniki TES i TPES zaprezentowane w kolejności zgodnej z wykonywanym badaniem: a) osoby z podejrzeniem deuteranomalii lub deuteranopii; b) osoby z podejrzeniem braku widzenia barwnego

Porównanie wartości TES u badanego z podejrzeniem deuteranomalii lub deuteranopii w oświetleniach D65 i TL84 również pokazuje, że lampa TL84 oddaje barwy gorzej niż D65. Interesujące okazało się zestawienie wyników uzyskanych bez okularów i w okularach z soczewkami filtrującymi światło niebieskie. W obu warunkach oświetlenia soczewki te wpłynęły korzystnie na zdolność rozróżniania barw. Wykonano tylko jeden pomiar, dlatego należy podchodzić krytycznie do jego wiarygodności.

Wynik TES jednego z uczestników w oświetleniu TL84 przekroczył wartość 500 punktów bez wyróżniającej się osi największych błędów. Określenie wpływu warunków wykonywania testu na zdolność rozróżniania barw u tej osoby jest utrudnione i wydaje się, że większą rolę w tym przypadku odgrywała kolejność badania wiążąca się z narastającym zmęczeniem badanego. Nie można też wykluczyć przypadkowości uzyskanych wyników, ponieważ pomiar nie został powtórzony.

Wnioski

Rodzaj użytego oświetlenia jest ważnym czynnikiem wpływającym na wyniki testu F-M 100 Hue. Należy stosować się do zaleceń dotyczących warunków wykonywania badania, używając wyłącznie standaryzowanych źródeł światła przeznaczonych do oceny barw.

Dział „Optyka – nauka”: zapraszamy do współpracy!

redakcja „Optyki”, realizując postulaty środowisk akademickich oraz organizacji reprezentujących środowiska optyków i optometrystów (KRI0, PT00, ŚKA00i0), prowadzi dział „Optyka – nauka”. Przedsięwzięcie to ma na celu umożliwienie publikacji oryginalnych wyników badań naukowych przede wszystkim studentom, doktorantom oraz młodym pracownikom nauki. „Optyka” znalazła się na liście punktowanych czasopism naukowych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. **Za publikację w naszym czasopiśmie przyznawane są 2 punkty naukowe!** Nad merytorycznym poziomem nadsyłanych do druku prac czuwa Rada Naukowa dodatku „Optyka – nauka” w składzie:

Prof. dr hab. **RYSZARD NASKRĘCKI** (Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu)

Dr hab. inż. **D. ROBERT ISKANDER** (Politechnika Wrocławska)

Prof. dr hab. **HENRYK KASPRZAK** (Politechnika Wrocławska)

Prof. dr hab. **ANDRZEJ KOWALCZYK** (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu)

Dr hab. **MAREK KOWALCZYK-HERNÁNDEZ** (Uniwersytet Warszawski)

Prof. dr hab. **BOGDAN MIŚKOWIAK** (Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu)

Rada korzystać będzie także z pomocy zewnętrznych recenzentów.

Wszelkie informacje na temat wymogów przygotowywania manuskryptów znajdują się na naszej stronie internetowej:

www.gazeta-optyka.pl.

Wyniki zaprezentowane w tabeli 1.c pozwalają przypuszczać, iż filtr HVL-BC nie będzie utrudniał osobom z normalnym widzeniem barwnym funkcjonowania w codziennych sytuacjach, których reprezentacją jest używane w sklepach oświetlenie TL84. Odradza się jednak przeprowadzanie testu w okularach korekcyjnych pacjenta z soczewkami wyposażonymi w takie uszlachetnienie, ponieważ, jak pokazuje analiza przypadków z tabeli 1.b, wartości TES mogą różnić się nawet o 79 punktów.

Wyniki testu uzyskane przez osobę z podejrzeniem deuteranomalii lub deuteranopii są dość zaskakujące i warto rozważyć dalsze badania dotyczące wpływu częściowej filtracji światła niebieskiego na zdolność rozróżniania barw u osób z tego rodzaju zaburzeniami widzenia barwnego.

Podziękowanie

Autorzy dziękują firmie Hoya Lens Poland Sp. z o.o. za udostępnienie do badań soczewek z powłoką Hi-Vision LongLife BlueControl.

*Katarzyna Żagłewska jest obecnie studentką studiów II stopnia na kierunku optometria na Uniwersytecie Medycznym im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Piśmiennictwo

1. A. Lens, S. Nemeth, J. Ledford. *Anatomia i fizjologia narządu wzroku. (Ocular Anatomy and Physiology)*. Górnicki Wydawnictwo Medyczne, 2010
2. D.M. Berson. Strange vision: ganglion cells as circadian photoreceptors. *Trends in neurosciences* 26(2003): 314
3. S. Schwartz. *Visual Perception A Clinical Orientation*. McGraw-Hill Companies, 2010
4. R. Lakowski. Theory and practice of colour vision testing: a review 2. *British Journal of Industrial Medicine* 26(1969): 265
5. D. Farnsworth. *The Farnsworth-Munsell 100-Hue Test for the Examination of Color Discrimination*. Revised ed. Baltimore: Munsell Color Company, 1957
6. C. Yu, Y. Lin, C. Chen. Elucidating the Effect of Yellow Illumination on Color Confusion in the Semiconductor-Related Manufacturing Industry. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 21(2011): 456
7. K. Zahiruddin, S. Banu, R. Dharmarajan, V. Kulothungan, D. Vijayan, R. Raman, T. Sharma. Effect of Illumination on Colour Vision Testing with Farnsworth-Munsell 100 Hue Test: Customized Colour Vision Booth versus Room Illumination. *Korean Journal of Ophthalmology* 24(2010): 159
8. R. Naskręcki, M. Grzonka. Blue Light Hazard, czyli czy i jak chronić się przed nadmiarem światła niebieskiego. *Optyka* 3(2016): 36
9. E. Arnault, C. Barrau, C. Nanteau, P. Gondouin, K. Bigot, F. Viénot, E. Gutman, V. Fontaine, T. Villette, D. Cohen-Tannoudji, J. Sahel, S. Picaud. Phototoxic Action Spectrum on a Retinal Pigment Epithelium Model of Age-Related Macular Degeneration Exposed to Sunlight Normalized Conditions. *PLoS ONE* 8(8), 2013
10. V. Greenstein, F. Chiosi, P. Baker, W. Seiple, K. Holopigian, R. Braunstein, J. Sparrow. Scotopic sensitivity and color vision with a blue-light-absorbing intraocular lens. *Journal of Cataract & Refractive Surgery* 33(4), 2007, s. 667
11. P. Kinneer, A. Sahraie. New Farnsworth-Munsell 100 Hue Test Norms of Normal Observers for Each Year of Age 5–22 and for Age Decades 30–70. *British Journal of Ophthalmology* 86(2002): 1408
12. D. Hinks, R. Shamey. Review of retail store lighting: implications for colour control of products. *Coloration Technology* 127(2011): 121
13. S. Kitsinelis. *Light Sources. Technologies and Applications*. Taylor and Francis Group, 2011