

Szczecin, 14.04.2022

dr hab. Jacek Styszyński, prof. US
Instytut Fizyki Uniwersytetu Szczecińskiego

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Jacka Zabła
Określenie przydatności anomaloskopu do badania wrażliwości na barwy
w zakresie światła niebieskiego

Zaburzenie widzenia barwnego ma wpływ na różne aspekty życia codziennego i może ograniczać nasze możliwości zawodowe. Przyjmuje się, że test widzenia barwnego powinien być elementem każdego badania optometrycznego. W przypadku badania dzieci najczęściej wystarczające okazują się testy pseudoizochromatyczne, które pozwalają na wykrycie wrodzonych nieprawidłowości widzenia barw. W przypadku badania osoby dorosłej dodatkowo należy wziąć pod uwagę możliwość wystąpienia nabytych nieprawidłowości widzenia barw. Stosowane metody badania różnią się stopniem ich złożoności, skutecznością i dokładnością diagnozy, a także czasem i kosztami badania. Można je podzielić na cztery grupy: porównawcze, lampowe, wykorzystujące tablice pseudoizochromatyczne i spektralne. Metody spektralne, uchodzące za najdokładniejsze, opierają się na tzw. równaniu Rayleigha i równaniu Morelanda, które wykorzystane zostały przy konstrukcji urządzenia do badania zaburzenia widzenia barw - anomaloskopu w wersji Nagela lub Neitza.

Mgr inż. Jacek Zabel w przedłożonej do oceny pracy doktorskiej wykorzystuje anomaloskop do badania wrażliwości na barwy w zakresie światła niebieskiego. Pracę stanowi cykl artykułów opublikowanych w 2021 roku w recenzowanych czasopismach naukowych znajdujących się w wykazie czasopism punktowanych MNiSW: PLoS ONE: 100 pkt (wskaźnik IF= 3,24), International Journal of Environmental Research and Public Health: 140 pkt. (IF=3,39) oraz Ophthatherapy: 20 pkt. Publikacje te są wieloautorskie (4 i 5 autorów), w dwóch z nich doktorant jest pierwszym autorem. Do publikacji dołączone są oświadczenia współautorów, z których wynika, że udział doktoranta w ich przygotowaniu był dominujący: 70%, 60% i 70%. Przedłożona do recenzji rozprawa składa się z 11 rozdziałów, przy czym rozdział pierwszy zawiera dane opisujące dorobek naukowy doktoranta. Kolejne to: streszczenie w języku polskim i angielskim, trzy wymienione wyżej publikacje, wstęp i cele rozprawy, komentarz do cyklu publikacji, podsumowanie i wnioski, oświadczenia współautorów, orzeczenie Komisji Bioetycznej, załącznik oraz spis literatury zawierający 16 pozycji. Całość zajmuje 78 stron.



W prezentowanych badaniach autor wykorzystuje anomaloskop, a pomiar przeprowadza w tzw. trybie manualnym. Badany obserwuje przez okular jasne, okrągłe pole podzielone poziomą linią na dwie połowy. W górnym polu badający ustala wg określonej procedury względne natężenia dwóch kolorów. Wówczas badana osoba dobiera jasność (luminancję) testowego dolnego pola tak, aby otrzymać wrażenie tego samego koloru w obu polach. Każda osoba badana jest pod względem wrażliwości na barwy w dwóch testach i dla każdej osoby mierzona jest dolna i górna granica zakresu dopasowania: R_1 i R_2 w teście Rayleigha dla zakresu *czzerwono-zielonego* oraz M_1 i M_2 w teście Morelanda dla zakresu *niebiesko-zielonego*. Na podstawie tych wartości obliczane jest centralne dopasowanie R_c , M_c - jako średnia arytmetyczna dolnego i górnego zakresu oraz szerokość zakresu dopasowania R_w , M_w - jako różnica tych zakresów. Wyznacza się również współczynniki a_R i a_M jako iloraz różnicy poziomu jasności pola testowego do różnicy granicznych wartości zakresu dopasowania pola referencyjnego w danym teście.

Pierwsza z prac bada rekomendowane przez producenta anomaloskopu HMC Anomaloscope MR 47700 zakresy referencyjne dla parametrów wyznaczanych w ramach testów Rayleigha i Morelanda, które uznawane są za odpowiadające normie w rozróżnianiu barw czerwonej i zielonej oraz niebieskiej i zielonej. Doktorant przeprowadza badania 90 osób, które po spełnieniu ustalonych kryteriów i na podstawie badań przesiewowych (test HRR) uznaje za osoby zdrowe, bez anomalii w widzeniu barwnym. Otrzymane wartości parametrów dla testu Rayleigha wyznaczone są dla całej próby, ale również osobno dla mężczyzn i dla kobiet. Wartości średnie dolnej i górnej granicy zakresu (R_1 , R_2) wykazują nieduże odstępstwo wartości referencyjnych. Zauważalne jest przesunięcie w kierunku czerwieni wartości parametrów R_2 i R_c otrzymanych dla mężczyzn w porównaniu z wartościami dla kobiet, co świadczy o słabszym postrzeganiu barwy czerwonej przez mężczyzn, czyli nieznacznej protanomalii. Przeprowadzone przez autora badania pozwalają na zdefiniowanie nowych, poprawionych i dokładniejszych wartości granicznych zakresu dopasowania (35,9 i 52,6) przy badaniu wrażliwości na barwy w zakresie czerwono-zielonym w stosunku do wartości referencyjnych (34 i 46) producenta oraz na zaproponowanie osobnych norm dla kobiet (35,4 i 51,3) i dla mężczyzn (36,8 i 54,8). Stanowi to ważny praktyczny wynik pracy. Wyniki badań dla testu Morelanda cechuje wysoka zmienność międzyosobnicza, co nie pozwala na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków. W szczególności wartość M_1 dolnej granicy zakresu dopasowania wykazuje duży rozrzut, a wartość szerokości zakresu dopasowania M_w jest ponad 3-krotnie większa od referencyjnej. Trudno jest więc zdefiniować zakres referencyjny dla testu Morelanda, który miałby służyć do wiarygodnej oceny stopnia zaburzenia widzenia barwy

niebieskiej. Autor przeprowadza bardzo ciekawą i ważną analizę korelacji między wartościami poszczególnych parametrów charakteryzujących zakresy dopasowania w obu testach. Jako najistotniejszą znajduje korelację między parametrami R_1 i M_1 . Analiza ta pokazuje, że wysoka wrażliwość na barwy w zakresie czerwono – zielonym jest czynnikiem wpływającym na wrażliwość na barwy dla zakresu niebiesko – zielonego. W obecnej formie test Morelanda nie może służyć jako wiarygodne narzędzie do wykrywania zaburzeń widzenia barwy niebieskiej, jednak zastosowanie diod emitujących światło o bardziej różniących się długościach fal mogłoby tę sytuację poprawić.

Kolejnym etapem prac prowadzonych przez mgr inż. Jacka Zabla było zbadanie wpływu osłabienia natężenia światła niebieskiego ($\lambda=436$ nm), stosowanego w teście Morelanda, na wartości graniczne zakresu dopasowania dla tego testu. W tym celu zastosował 3 rodzaje filtrów o malejącej transmitancji dla tego światła (96%, 16% i 0,3%). W testach udział wzięło 30 zdrowych (wg ustalonych kryteriów) osób, których dominujące oko badane było w obu testach. Zgodnie z oczekiwaniami, redukcja natężenia światła spowodowała obniżenie wartości parametrów M_1 i M_2 w teście Morelanda w porównaniu z wynikami pomiarów bez użycia filtra. Zmienność międzypersonalna parametru M_1 zmalała, ale wzrosła dla parametru M_2 . Wartości współczynnika a_M rosną wraz z zastosowaniem coraz silniejszych filtrów. Odpowiada to sytuacji, w której wzrost proporcji koloru zielonego w stosunku do niebieskiego (we względnej skali 0-100) zwiększa percepcję jasności pola referencyjnego, co objawia się wzrostem luminancji dopasowywanego pola cyjanowego. Słaba korelacja między a_M i parametrami zakresu dopasowania w teście Morelanda oznacza, że postrzeganie jasności koloru różni się od ogólnej zdolności postrzegania kolorów niebieskiego i zielonego. Filtry światła niebieskiego w niewielkim stopniu redukują transmitancję światła zielonego o długości fali 546 nm. Ich zastosowanie obniża nieco wartości R_1 i R_2 , jednak nie zmienia się istotnie wartość R_w i współczynnika a_R . Oznacza to, że nieduże obniżenie natężenia światła zielonego w teście Rayleigha nie wpływa na rozróżnienie odcieni cytrynowego, żółtego i pomarańczowego na osi kolorów zielony – czerwony. Podobnie jak w poprzednich badaniach analiza korelacji parametrów zakresu dopasowania dla obu testów pokazuje, że osoby z dobrą rozróżnialnością odcieni na osi zielony-czerwony wykazują się również dobrą rozróżnialnością odcieni na osi zielony-niebieski. Obniżenie luminancji światła diody niebieskiej wpływa na korelacje parametrów związanych z wrażliwością na światło zielone. Stąd redukcja intensywności światła diody niebieskiej o 15 - 40% powinna ułatwić diagnozowanie przypadków z obniżoną wrażliwością na światło zielone i zwiększyć przydatność metody do ilościowego oszacowania obniżenia zdolności widzenia tego koloru w przypadku różnych chorób. Ponadto doktorant

wskazuje, że możliwości anomaloskopu mogą być rozszerzone poprzez zastosowania: filtrów światła czerwonego i zielonego, diod światła zielonego i cyjanowego o większej różnicy długości fal niż obecna (wynosząca 10 nm) w teście Morelanda lub przy zachowaniu dotychczasowych długości fal, filtrów o istotnie różnej transmitancji. Wprowadzenie nowego testu, w którym mieszane są kolory czerwony i niebieski w odniesieniu do koloru fioletowego mogłoby być dodatkową opcją poszerzającą możliwości ilościowych badań zaburzeń widzenia barwnego.

Mgr inż. Jacek Zabel wykorzystuje dalej anomaloskop do ilościowej oceny zdolności rozróżniania barw przez pacjentów, u których występowała obuoczna zaćma, u których jedno oko poddane było zabiegowi usunięcia zaćmy z wszczepem soczewki wewnątrzgałkowej (SE), a drugie pozostało niezoperowane (CE). Przyjmuje przy tym, że różnice między lewym i prawym okiem przed operacją były niewielkie, co pozwala mu porównywać oko z zaćmą (CE) z okiem zoperowanym (SE). Do badań zakwalifikowano 12 osób w wieku 64 – 82 lat. Porównanie wartości średnich parametrów dla oka zoperowanego i oka z zaćmą wskazuje na istotne statystycznie różnice dla parametrów R_1 , R_w i R_c . Wartość R_1 jest większa dla oka po operacji, a szerokość zakresu R_w uległa nieznacznemu zmniejszeniu. Świadczy to o poprawie wrażliwości na barwę zieloną i o lepszej rozróżnialności odcieni w zakresie czerwono - zielonym. Wartości średnie parametrów wyznaczonych w teście Morelanda dla oka z zaćmą i oka zoperowanego nie różnią się istotnie. Szczegółowa analiza parametrów została przeprowadzona w grupach pacjentów o ustalonym zakresie wartości parametru M_1 czy też parametru M_2 . Zarówno zmierzone niskie wartości parametru R_1 , jak i skrajne wartości parametrów M_1 i M_2 , wskazują na ich przydatność w ilościowych badaniach zaćmy z użyciem anomaloskopu. Ponadto w niektórych podgrupach usunięcie zaćmy i wszczep soczewki wewnątrzgałkowej wpłynęły na poprawę percepcji barw. Autor zdaje sobie sprawę z ograniczeń przeprowadzonych badań wynikających m.in. z małej liczby zbadanych pacjentów, z niezbadanych właściwości widmowych wszczepianych soczewek i zaznacza, że wnioski z badań należy traktować z ostrożnością. Wskazuje na ich pilotażowy charakter i potrzebę ich kontynuacji dla większej liczby pacjentów.

W badaniach przedstawionych przez mgr inż. Jacka Zabla ważne jest opracowanie statystyczne wyników. Badając korelację między parametrami autor stosuje metodę korelacji Spearmana, a dla porównania różnic między parametrami - test U Manna -Whitneya oraz test Wilcoxon dla par obserwacji. Ponadto dla badań przeprowadzonych na grupie 12 osobowej stosuje test t-Studenta dla dwóch średnich, a rozproszenie wyników sprawdza za pomocą testu F równości wariancji. Punktem wyjścia dla większości przedstawionych analiz statystycznych jest

stwierdzenie, że badane parametry określające zakres dopasowania w teście Rayleigha i teście Morelanda nie wykazują rozkładu normalnego. Autor nie wyjaśnia, w jaki sposób badał normalność rozkładu (publikacja 1) lub wymienia test Shapiro-Wilka (publikacja 2 i 3), nie podając jednak, jakie były wartości statystyki W i poziomu prawdopodobieństwa p , co pozwoliłoby czytelnikowi wyrobić sobie zdanie o skali niedopasowania do rozkładu normalnego. Zamieszczone w publikacji histogramy ilustrujące rozkład mierzonych parametrów mogą sugerować, że odstępstwo od rozkładu normalnego dla parametrów testu Rayleigh nie jest duże. W konsekwencji, badając różnice wartości porównywanych parametrów, autor stosuje nieparametryczne testy U Manna-Whitneya dla mediany lub nieparametryczny test Wilcoxon dla par obserwacji. W tabelach podaje wartości median dla poszczególnych parametrów oraz odpowiednie wartości statystyki Z i poziomu prawdopodobieństwa p , jednak w dyskusji posługuje się wartościami średnimi oraz odchyleniami standardowymi, co należałoby jednak skomentować. W innej tabeli podaje wartości minimalne i maksymalne danego parametru, choć do określania rozproszenia wyników bardziej przydatne byłyby wartości pierwszego i trzeciego kwartyla. Warto również zauważyć, że wnioski z analizy parametrów dla dwóch osobnych grup powiązanych z dwumodalnym charakterem rozkładu parametru R_2 w publikacji 1 (oraz parametrów M_1 i M_2 w publikacji 3) należy traktować z ostrożnością, gdyż podział próby dokonany na podstawie wartości pomiaru (a nie np. cechy zewnętrznej) nie jest w pełni jednoznaczny. W badaniach pacjentów z zaćmą, część parametrów wykazuje rozkład normalny a część nie, jednak dla wszystkich stosowany jest test F równości wariancji, a potem w grupach test t Studenta a nie Wilcoxon. Taki wybór testu dobrze byłoby uzasadnić. Duża zmienność osobnicza dla parametrów w teście Morelanda każe się zastanowić, czy i jaki wpływ miała na to przyjęta metodologia badań. Czy np. zmiana kolejności testów, najpierw test Morelanda, a potem test Rayleigha, lub czy zmiana kolejności wyznaczania parametrów w danym teście miałyby wpływ na wyniki pomiaru? Zdaję sobie sprawę, że specyfika artykułu naukowego nie pozwala na szczegółową dyskusję stosowanych standardowych metod statystycznych dostępnych w pakiecie Statistica. Jednak w mojej opinii rozprawa doktorska jest dobrym miejscem na poszerzony opis i dyskusję przeprowadzonej analizy statystycznej.

Badania pacjentów z zaćmą, w których oko po operacji (z wszczepioną soczewką wewnątrzgałkową) porównywane jest z okiem niezoperowanym, mogłyby być względnie łatwo uzupełnione o pomiar transmitancji dla zastosowanego u wszystkich pacjentów tego samego typu soczewki (P-HEMA), co poszerzyłoby informacje o właściwościach widmowych stosowanych implantów oraz ich wpływie na zmierzone granice zakresów dopasowania.

Rozprawa napisana jest poprawnie pod względem formalno-językowym, stylistycznym i interpunkcyjnym. Zdarzają się tylko nieliczne pomyłki i usterki: str. 7 i 56, w specyfikacji urządzenia podane jest „MR 4700” zamiast „MR 47700”; str. 57, przedostatnia linia, „szerokość zakresu dopasowania Mc” – powinno być „Mw”. Autor używa określeń „natężenie diody” (str. 57) i „redukcja długości fali” (str. 58) zamiast odpowiednio, „natężenie światła diody” i „redukcja natężenia światła o długości fali”. Na stronie 58 (i w publikacji) przeczytać możemy, że badane jest jedno oko dominujące, jednak w suplemencie A pracy i na str. 76, gdzie opisana jest procedura badań, mowa jest o tym, że kolejność badania oczu była ustalana randomicznie. Ponadto jako długość fali światła zielonego stosowanego w anomaloskopie w teście Rayleigha, autor podaje 546 nm, choć w instrukcji producenta znaleźć można wartość 549 nm.

Powyższe uwagi nie umniejszają mojej zdecydowanie pozytywnej opinii o rozprawie, w tym pozytywnej oceny wartości praktycznej uzyskanych w niej wyników. Przeprowadzone przez mgr inż. Jacka Zabla badania wymagały ogromnego nakładu pracy polegającego na zebraniu grup badawczych, przeprowadzeniu testów kwalifikujących do badań, przygotowaniu stanowiska pomiarowego, wykonaniu pomiarów zakresów dopasowania dla 134 osób oraz udziale w opracowaniu danych i pisaniu pracy. Analiza i dyskusja uzyskanych wyników prowadzi do ciekawych wniosków, wielu z nich o znaczeniu praktycznym. Tam, gdzie uzasadnione, autor wskazuje na ograniczenia przeprowadzonych badań oraz na przyszłościowe kierunki dalszych badań, jak również możliwości modyfikacji i szerszego zastosowania anomaloskopu w badaniach optometrycznych. Wyniki badań będących podstawą niniejszej rozprawy doktorskiej zostały opublikowane w postaci 3 artykułów w renomowanych czasopismach o wysokiej punktacji MNiSW.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Jacka Zabla spełnia w pełni warunki określone w art.13 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. 2003 Nr 65 poz. 595 ze zm.) i wnoszę o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.