

Światło rozproszone siatkówki a jakość widzenia



Foto: archiwum Autorki

Mgr IWONA AST-STANKIEWICZ
Optometrysta (NO22717)
Salon Optyczny Optiforma Kraków

Wstęp

W starzejącym się społeczeństwie wzrasta liczba osób mających problemy z widzeniem, szczególnie po zmierzchu. Jest to związane z tym, że wraz z wiekiem maleje przejerność ośrodków optycznych oka. Zwiększa się przez to ilość światła rozproszonego, które wpływa na zmniejszenie kontrastu obrazu rzutowanego na siatkówkę i obniża w ten sposób jakość widzenia [1]. Rozwój wiarygodnych metod oceny rozpraszania wewnątrzgałkowego może przyczynić się do określenia stopnia zmętnienia soczewki i wczesnej diagnostyki zaćmy [2]. Problem z widzeniem zmierzchowym dotyczy w szczególności osób z jaskrą, z chorobami zwyrodnieniowymi siatkówki, często będącymi powikłaniem cukrzycy oraz osób z niedoborem witaminy A. W idealnym oku nie byłoby w ogóle rozpraszania światła, ale ponieważ ośrodki oka nie są idealne optycznie, zawsze będzie pewne rozproszenie, nawet w zdrowych, młodych oczach. Światło rozproszone prowadzi do niekorzystnych efektów wizualnych, takich jak trudności w rozpoznawaniu twarzy pod światło, odbłaski podczas nocnej jazdy samochodem lub zamglone widzenie, które nasila się z wiekiem. Wiele osób rezygnuje z prowadzenia samochodu nocą z uwagi na oślepiające światło reflektorów mijających pojazdów [1].

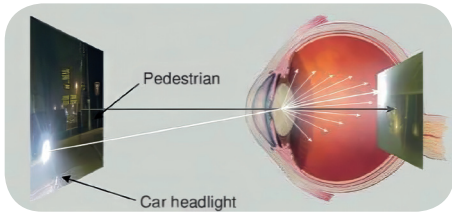
Zwiększona wrażliwość na olśnienie

Olśnienie jest stanem widzenia, przy którym występuje dyskomfort związany ze zmniejszeniem zdolności rozpoznawania obiektów, spowodowany zadziaaniem nadmiernego bodźca świetlnego [6]. Jest ono spowodowane rozproszeniem światła w kierunku na wprost, głównie rozpraszaniem Mie. Zwiększona wrażliwość na olśnienie występuje zwykle u osób krótkowzrocznych, po zabiegach laserowej korekcji wad wzroku, a przede wszystkim w przypadku takich schorzeń ocznych, jak: zaćma, choroby rogówki, dystrofia plamkowa oraz albinizm i nieco rzadziej w jaskrze czy AMD. Osoby z obniżonym poczuciem kontrastu często wymagają większego oświetlenia, co z kolei może nasilić olśnienie.

Dlatego określenie wrażliwości na olśnienie jest ważne, aby pomóc pacjentowi w dobraniu optymalnych warunków oświetlenia [3]. Źrenice pod wpływem olśnienia odruchowo zwężają się, co znacznie utrudnia obserwację. Wskutek olśnienia następuje obniżenie ostrości wzroku i zdolności dostrzegania obiektów, tym większe, im mocniejsze było źródło światła. Po ustaniu czynnika, jakim jest światło olśniewające, oko powraca do stanu sprzed olśnienia, czyli do stanu adaptacyjnego. Zbyt długi okres readaptacji może być zagrożeniem bezpieczeństwa w ruchu drogowym [4,5].

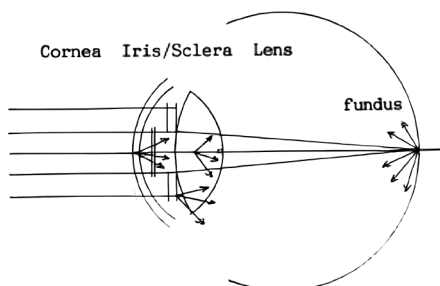
Olśnienie można podzielić na takie, które nie osłabia ostrości widzenia, ale powoduje drażniący i męczący dyskomfort oraz takie, które powoduje niepełnosprawność poprzez uniemożliwienie widzenia w obszarze objętym olśnieniem. Z wiekiem dochodzi do utraty fotoreceptorów siatkówki oka odpowiedzialnych za widzenie w warunkach ograniczonego oświetlenia, dlatego zapotrzebowanie na światło wzrasta i ulega pogorszeniu widzenie o zmroku i w nocy. Zjawisko wzrastającej z wiekiem zwiększonej wrażliwości na olśnienie związane jest ze zbyt intensywnym rozpraszaniem światła w starzejącym się oku przez zmętniałą soczewkę i w pewnym stopniu ciało szkliste, zwłaszcza po zmroku, kiedy źrenica ulega rozszerzeniu. Zmniejszająca się z wiekiem źrenica przepuszcza do siatkówki mniejszą ilość światła, następuje wolniejsze jej zwężanie i rozszerzanie, a coraz bardziej gęsta soczewka silniej rozprasza światło powodując osłabienie zdolności szybkiej adaptacji oka do zmieniających się warunków oświetlenia [7]. Średnica źrenicy mniejsza niż 2 mm powoduje dyfrakcję światła dookoła krawędzi źrenicy i powoduje jego rozproszenie [8]. Adaptacja do nagłej ciemności, jak również do jasności ulega znacznemu wydłużeniu, co obniża u ludzi w starszym wieku sprawność codziennego funkcjonowania. Ponieważ fotoreceptory najlepiej stymulowane są ostrymi brzegami istniejącymi między światłem i ciemnością, rozpoznawanie przedmiotów następuje bardziej na skutek sugerowania się ich zarysami niż obszarami wewnętrznymi [7].

Wpływ światła rozproszonego na widzenie



Ryc. 1. Wizualizacja światła rozproszonego w siatkówce [1]

Wewnątrzgałkowe rozproszenie światła to zjawisko polegające na tym, że część światła docierającego do siatkówki nie bierze udziału w normalnym tworzeniu obrazu, ale jest rozpraszana do innych obszarów przez niedoskonałości układu optycznego oka. Występuje to szczególnie w stanach patologicznych, takich jak: zaćma, dystrofia rogówki, pływające cząstki w komorach, męty w ciele szklistym, itp. Zwiększone rozpraszanie światła może występować również po zabiegach chirurgii refrakcyjnej w przypadku zamglenia rogówki, a także może być wywołane czynnikami zewnętrznymi, takimi jak zabrudzone soczewki okularów. Te rozproszone promienie rozchodzą się po całej siatkówce, ale z coraz mniejszą gęstością wraz ze wzrostem odległości od pierwotnego obszaru ogniskowego. Nazywane są często światłem błędzącym, które zmniejsza kontrast obrazu siatkówki. W przypadku, gdy redukcja kontrastu jest tak silna, że spada on poniżej progu, następuje oślepienie. Typową sytuacją jest oślepienie przez nadjeżdżający z przeciwka samochód w porze nocnej [1,9]. Wizualizacja powstawania światła rozproszonego w siatkówce została przedstawiona na rycinie 1. Elementy optyczne oka tworzą obraz świata zewnętrznego (lewy obrazek) na siatkówce (prawy obrazek). W przypadku takiej sceny ulicznej obraz na siatkówce jest bardziej zdegradowany. Obiekty uliczne są znacznie mniej widoczne w porównaniu z oryginalnym obrazem. Jest to spowodowane tym, że część światła pochodzącego z reflektora samochodu jest rozpraszona we wszystkich kierunkach do przodu (białe strzałki na rycinie), rzutując zastępną świetlną (światło błędzące) na obraz siatkówki, co powoduje spadek kontrastu tego obrazu. Lewy obrazek symuluje to, co widziałoby normalne, zdrowe oko, a prawy – to, co widać przy wczesnej zaśmie.



Ryc. 2. Podstawowe źródła światła rozproszonego wewnątrzgałkowego [1]

W obrębie oka (patrz ryc. 2) istnieją cztery główne źródła, które przyczyniają się do całkowitej ilości światła błędzącego. Należą do nich: rogówka, tęczówka z twardówką (gdyż nie są całkowicie nieprzezroczyste), soczewka i dno oka. Za pomocą tzw. obiektywnych pomiarów wykorzystujących wsteczne rozproszenie światła, takich jak pomiary oparte na badaniu w lampie szczelinowej, można ocenić zmętnienia ośrodków optycznych oka. Nieprzezroczystości te są częściowo odpowiedzialne za ilość światła rozproszonego w oku, dlatego istnieje związek pomiędzy stopniem zmętnienia obserwowanym za pomocą lampy szczelinowej a ilością światła błędzącego. Nie jest to jednak zależność jeden do jednego, gdyż w badaniu przy użyciu lampy szczelinowej wykorzystujemy światło, które jest rozproszone od dna oka do tyłu. Ważniejsze jest zmierzenie światła rozproszo-

nego do przodu, gdyż to właśnie ono jest rzeczywiście widziane przez pacjenta i przeszkadza mu w życiu. Wpływ światła rozproszonego na widzenie jest zupełnie inny niż wpływ obniżonej ostrości wzroku na widzenie. Ilustrują to przykłady przedstawione na rycinie 3. Sceny z życia codziennego były fotografowane w trzech warunkach: normalnie, z obiektywem rozmywającym i z filtrem rozpraszającym światło przed obiektywem aparatu. Obiektyw rozmywający symuluje spadek ostrości widzenia do około 0,4, filtr rozpraszający symuluje zwiększone rozpraszanie światła $\log(s) = 1,47$. Normalna ostrość widzenia wynosiłaby około 1,5, a normalna wartość światła rozproszonego wynosiłaby około $\log(s) = 0,87$, więc w obu przypadkach obraz jest pogorszony o współczynnik 4. Zdjęcia te są dowodem na to, że w pewnych okolicznościach życia codziennego zwiększone rozpraszanie światła ma znacznie silniejszy wpływ na jakość widzenia niż obniżenie jego ostrości [1].



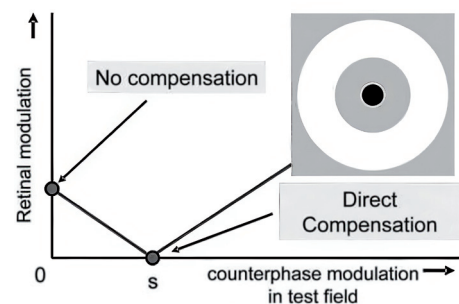
Ryc. 3. Porównanie pomiędzy (po lewej) rozmyciem typu refrakcyjnego (ostrość wzroku ok.0,4) i (po prawej) wczesnym zaburzeniem światła rozproszonego $\log(s)$ około 1,47, dla różnych sytuacji życia codziennego. Środkowa kolumna pokazuje, co widziałoby normalne oko [1]

W metodzie tej jasne, pierścieniowe, migoczące źródło światła prezentowane jest w pewnej odległości kątowej od ciemnego pola testowego. Część światła z jasnego źródła ulega rozproszeniu na siatkówce, wywołując migotanie w polu testowym. Aby określić dokładną ilość światła rozproszonego, w polu testowym prezentowane jest zmienne światło kompensacyjne w przeciwnej fazie. Osoba badana fiksuje wzrok na czarne pole testowe. Sprawiamy, by pierścień migotał, zmieniamy ilość światła kompensacyjnego w polu testowym i pytamy badanego, przy którym ustawieniu nie widzi migotania w polu testowym. Ponieważ wiemy, ile światła kompensacyjnego umieściliśmy w polu testowym, znamy również ilość światła rozproszonego w oku badanego, co było celem procedury. Schemat działania metody bezpośredniej kompensacji przedstawiono na rycinie 4. Modulację

Metody psychofizyczne pomiaru światła rozproszonego siatkówki

Metoda bezpośredniej kompensacji

W metodzie tej jasne, pierścieniowe, migoczące źródło światła prezentowane jest w pewnej odległości kątowej od ciemnego pola testowego. Część światła z jasnego źródła ulega rozproszeniu na siatkówce, wywołując migotanie w polu testowym. Aby określić dokładną ilość światła rozproszonego, w polu testowym prezentowane jest zmienne światło kompensacyjne w przeciwnej fazie. Osoba badana fiksuje wzrok na czarne pole testowe. Sprawiamy, by pierścień migotał, zmieniamy ilość światła kompensacyjnego w polu testowym i pytamy badanego, przy którym ustawieniu nie widzi migotania w polu testowym. Ponieważ wiemy, ile światła kompensacyjnego umieściliśmy w polu testowym, znamy również ilość światła rozproszonego w oku badanego, co było celem procedury. Schemat działania metody bezpośredniej kompensacji przedstawiono na rycinie 4. Modulację



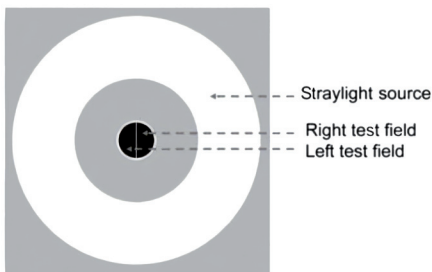
Ryc. 4. Metoda bezpośredniej kompensacji [10]

siatkówki w polu testowym (czarne pole), wynikającą z rozproszonego światła z ciągle migoczącego pierścienia (biały), wykreśla się w stosunku do wielkości modulacji przeciwfazowej w tym polu testowym. W punkcie s migotanie zostaje wygaszone, a dokładna wartość światła rozproszonego zostaje znaleziona [10].

Metoda kompensacyjno-porównawcza

Aby przezwyciężyć wszelkie ograniczenia związane ze stosowaniem metody bezpośredniej kompensacji, poprawić dokładność pomiaru, uodpornić go na oszustwa i sprawić, by test był łatwiejszy do przeprowadzenia, opracowano nową wersję światłomierza opartą na porównaniu. Metoda ta, nazwana metodą porównania kompensacyjnego, polega na dostarczaniu badanemu dokładnie tych samych bodźców, co metoda bezpośredniej kompensacji. W metodzie kompensacji bezpośredniej osoba badana porównuje kolejno różne bodźce, natomiast w metodzie porównań kompensacyjnych, dwa bodźce z metody kompensacji bezpośredniej są prezentowane i porównywane przez badanego jednocześnie. W ten sposób metoda kompensacji bezpośredniej jest realizowana jako metoda dwóch alternatyw dla wymuszonego wyboru (*two-alternative-forced-choice*, 2AFC). Najważniejsza różnica polega na tym, że pole testowe jest teraz podzielone na dwie połowy. Kolejną różnicą jest to, że podczas pomiaru bodziec nie jest już prezentowany w sposób ciągły, ale w serii krótkich bodźców. Bodźce te są identyczne, jeżeli chodzi o migoczący pierścień i szare otoczenie. Jedynie oba pola testowe różnią się od siebie. Jedno z pól testowych jest przez cały czas czarne. W drugim polu testowym prezentowane jest światło kompensacyjne. Tak więc jedno pole testowe odpowiada punktowi początkowemu w metodzie kompensacji bezpośredniej, a drugie pole testowe odpowiada pewnej wartości kompensacji w metodzie kompensacji bezpośredniej. W ten sposób osoba badana może porównać różne wartości kompensacji z brakiem kompensacji. Zadaniem osoby badanej jest podjęcie decyzji dla każdego bodźca, które pole testowe migocze silniej: lewe czy prawe. Podczas testu położenie lewego / prawego pola testowego jest losowo zmieniane przy każdym bodźcu. Pole testowe bez kompensacji jest przez cały czas czarne. Jednak ze względu na światło rozproszone, osoba badana będzie postrzegać migotanie w tym polu testowym, gdy tylko pierścień zacznie migotać. Oczywiście, to samo światło rozproszone powoduje również migotanie w drugim polu testowym. Jednak w tym polu testowym prezentowane jest światło kompensacyjne, które jest inne dla każdego bodźca. W zależności od ilości światła kompensacyjnego może ono być większe lub mniejsze niż migotanie w polu testowym bez kompensacji. Odpowiedzi osoby

badanej rejestrowane są za pomocą dwóch przycisków, reprezentujących lewe i prawe pole testowe. Układ ekranu testowego dla miernika światła rozproszonego oparte



Ryc. 5. Ekran testowy w metodzie kompensacyjno-porównawczej [10]

kompensacyjnym przedstawiono na rycinie 5. Używając modelu psychofizycznego dla tego zadania porównania migotania dopasowuje się krzywą psychometryczną do odpowiedzi osoby badanej, z której można otrzymać zarówno wartość światła rozproszonego, jak i miarę jakości pomiaru. Metoda porównania kompensacyjnego pozwoliła wyeliminować możliwość świadomego wpływania na wynik badania. Biorąc pod uwagę tę zaletę, pomiar światła rozproszonego w siatkówce stał się możliwy na szeroką skalę w zastosowaniach klinicznych. Metoda ta została zaimplementowana przez niemiecką firmę Oculus w komercyjnie dostępnym urządzeniu pomiarowym o nazwie C-Quant [10].

Zależność rozpraszania światła od wieku, długości fali, wielkości źrenicy, biometrii oka

W wyniku przeprowadzonych badań nad światłem rozproszonym stwierdzono, że jego ilość zwiększa się nie tylko z wiekiem, ale także wraz z długością osiową gałki ocznej, jak również w przypadku średnicy źrenicy mniejszej niż 2 mm. Nie stwierdzono korelacji między światłem rozproszonym a keratometrią i astygmatyzmem rogówkowym. Badania wykazały też silną zależność od długości fali rozpraszania pod małymi kątami ($0,5^\circ$), charakteryzującą się nagłym wzrostem dla fal dłuższych niż 600 nm [11–14].

Podsumowanie

Olśnienia powodujące niepełnosprawność narządu wzroku można w pełni zrozumieć na podstawie optycznego zjawiska rozpraszania światła w oku. Ponieważ olśnienie jest zależne od warunków (występuje tylko wtedy, gdy obecne jest źródło światła oślepiającego), ludzie mogą być nieświadomi swojej niepełnosprawności i potencjalnych zagrożeń. Wczesne wykrywanie zaburzeń funkcji wzrokowych jest istotne dla bezpiecznego i komfortowego wykonywania pracy, np. przez kierowców zawodowych [5]. Znalazienie przyczyn pogorszenia widzenia, szczególnie u osób starszych, może przyczynić się do podniesienia jakości ich życia poprzez pomoc w doborze optymalnych warunków oświetlenia oraz w dopasowaniu odpowiednich filtrów światła widzialnego poprawiających widzenie.

Piśmiennictwo

1. <https://herseinstituut.nl/wp-content/uploads/2016/06/Straylight.pdf> (data dostępu: 20.04.2021)
2. projekty.ncn.gov.pl/opisy/383811-pl.pdf (data dostępu: 05.02.2022)
3. M. Misiuk-Hojto, M. Rekas. *Basic and Clinical Science Course, część 3. Optyka kliniczna*. Edra Urban & Partner, Wrocław 2020
4. M. Ucińska, M. Dobrzyńska. Wrażliwość na kontrast jako jeden z wyznaczników bezpiecznego kierowania pojazdem. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 2013; nr 3: 523–532
5. M. Dobrzyńska, M. Ucińska. Znaczenie sprawności widzenia dla bezpiecznego prowadzenia pojazdu. *Transport Samochodowy* 2014; 2: 23–43
6. encyklopedia.pwn.pl/szukaj/olnienie.html (data dostępu: 15.04.2022)
7. M. Kilian. Naturalne i patologiczne zmiany oczne w starszym wieku i ich subiektywne objawy. *Niepełnosprawność i Rehabilitacja* 2020; 2: 91–105
8. M. Misiuk-Hojto. *Anatomia i fizjologia narządu wzroku*. Górnicki Wydawnictwo Medyczne, Wrocław 2010
9. T.J.T.P. van den Berg. Importance of pathological intraocular light scatter for visual disability. *Documenta Ophthalmologica* 1986; vol. 61: 327–333
10. L. Franssen, J.E. Coppens, T.J.T.P. van den Berg. Compensation Comparison Method for Assessment of Retinal Straylight. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* February 2006; vol.47(February2006), 768–776.
11. J.E. Coppens, L. Franssen, T.J.T.P. van den Berg. Wavelength dependence of intraocular straylight. *Experimental Eye Research* April 2006; vol. 82: 688–692
12. L. Franssen, J. Tabarnero, J.E. Coppens, T.J.T.P. van den Berg. Pupil size and Retinal Straylight in the Normal Eye. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* May 2007; vol. 48: 2375–2382
13. H.S. Ginis, G.M. Perez, J.M. Bueno, A. Pennos, P. Artal. Wavelength Dependence of the Ocular Straylight. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2013; vol. 54: 3702–3708
14. J.J. Rozema, T.J.T.P. van den Berg, M.J. Tassignon. Retinal Straylight as a Function of Age and Ocular Biometry in Healthy Eyes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* May 2010; vol. 51: 2795–2799

Artykuł został napisany na podstawie pracy dyplomowej, na kierunku studiów podyplomowych kwalifikacyjnych optometrii, na Uniwersytecie Śląskim. Autorka składa serdeczne podziękowania promotorowi pracy, Panu mgr. Sebastianowi Nowakowskiemu, za wszelką pomoc i poświęcony czas.