

PRACE POGLĄDOWE

KAROL STASIAK

PROCES WIDZENIA BARWNEGO

THE PROCESS OF COLOUR VISION

Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej, Warszawa
Klinika Okulistyczna

Military Institute of Aviation Medicine, Warsaw, Poland
Department of Ophthalmology

STRESZCZENIE: Autor przedstawia proces widzenia barwnego poczynając od emisji światła, przez fizjologię widzenia barwnego po psychologiczne procesy percepcji barw. Omówione zostało również znaczenie prawidłowej percepcji barw w widzeniu personelu latającego oraz uregulowania prawne odnośnie widzenia barwnego w lotnictwie

SŁOWA KLUCZOWE: kolor, percepcja, światło, medycyna lotnicza

ABSTRACT: The author presents the process of colour vision starting from light emission, physiology of colour vision to psychological process of colour perception. The significance of the correct colour perception in the vision of flight personnel and legal regulations concerning colour vision in aviation are also discussed

KEY WORDS: colour, perception, light, aviation medicine

Widzenie barwne to skomplikowany proces, w który zaangażowanych jest wiele elementów związanych ze zjawiskami fizycznymi i fizjologicznymi. Zmiany w jednym czy w drugim elemencie mogą prowadzić do całkowicie odmiennej percepcji barwy, a tym samym do nieprawidłowego odczytywania zakodowanych w barwnych symbolach informacji. Takie barwne kodowanie informacji stosowane jest od dawna (np.

Adres do korespondencji: Karol Stasiak, Klinika Okulistyczna WIML, 01-755 Warszawa, ul. Krasińskiego 54/56, e-mail: kstasiak@wiml.waw.pl

czerwone światła stop samochodów), pozwala na zdecydowanie szybszą reakcję na określone zjawiska, zmniejsza częstość błędów i incydentów wynikających z opóźnionej lub błędnej reakcji. W specyficznych zawodach jak m.in. pilota i personelu statku powietrznego zaburzenia takie mogą prowadzić do niebezpiecznych sytuacji. Sytuacje takie mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia tak osób na pokładzie jak i na powierzchni ziemi. Personel pokładowy odczytuje bowiem barwnie zakodowane informacje jako wskazówki do bezpiecznego prowadzenia statku powietrznego i często z nich czerpie informacje odnośnie wykonywania odpowiednich manewrów tak podczas podejścia do lądowania, lądowania jak również mniej niebezpiecznych czynności podczas startu i lotu.

Proces widzenia to złożony zespół czynności naszego mózgu, który składa się z fazy postrzegania określonego zjawiska, a następnie z fazy jego identyfikacji i analizy. Za procesy te odpowiadają gałki oczne jako narządy receptorowe oraz ośrodkowy układ nerwowy. Najważniejszymi elementami w procesie widzenia są identyfikacja obiektów, orientacja przestrzenna oraz percepcja kolorów [2,5,7]. Widzenie barwne poprzez tworzenie kontrastu pomiędzy przedmiotami pozwala na ich szybsze i sprawniejsze identyfikowanie, a tym samym dostarcza niezbędnych informacji do orientacji przestrzennej.

Warunkami niezbędnymi, aby doszło nie tylko do procesu percepcji barw, ale w ogóle do zjawiska widzenia są trzy elementy [5,15]:

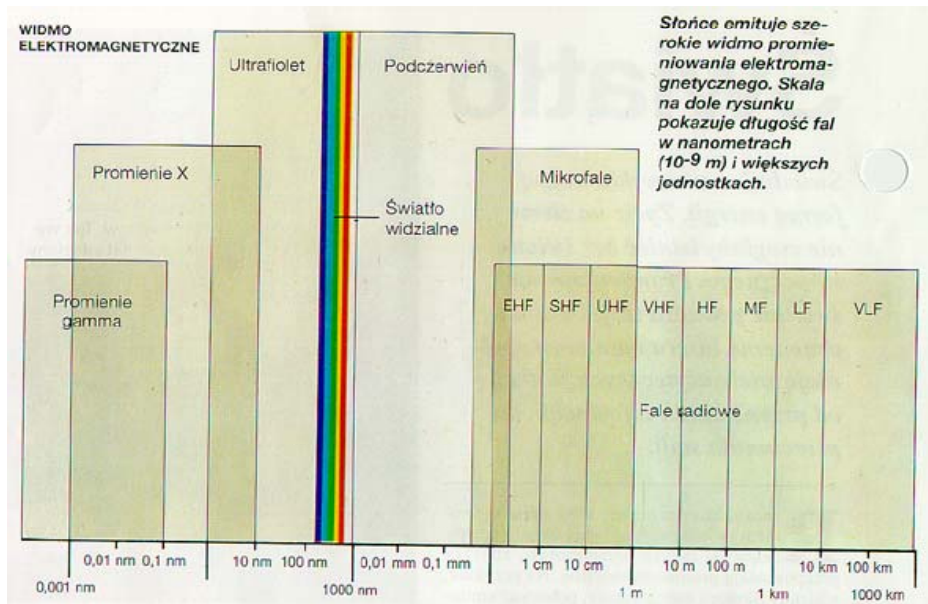
- proces fizyczny – emisja światła o określonych własnościach fizycznych,
- proces fizjologiczny – pobudzenie receptorów siatkówki oka, wyzwolenie impulsu nerwowego i jego przewodzenie do kory mózgowej,
- proces psychiczny – przetworzenie w korze wzrokowej pobudzeń przekazywanych drogą wzrokową.

1. Proces fizyczny widzenia barw

Światło, które dociera do ludzkiej siatkówki to fale widma promieniowania elektromagnetycznego o ściśle określonych własnościach fizycznych: długości, prędkości oraz energii.

a. długość fali światła

W toku ewolucji fotoreceptory ssaków wykształciły największą wrażliwość na te długości fal, których największa procentowo ilość (około 50%) dociera do Ziemi ze Słońca [6,16], pomimo tego, że fale widzialne stanowią zaledwie mały fragment z widma fal elektromagnetycznych (ryc.1).



Ryc 1. Widmo fal elektromagnetycznych.
Fig. 1. Spectrum of electromagnetic radiation.

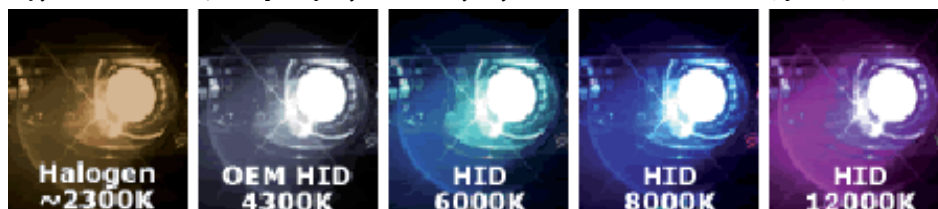
Zdolność do pobudzenia fotoreceptorów siatkówki oka człowieka mają fale o długości od około 380 do około 700 nm [5,8], przy czym fale świetlne o różnych długościach charakteryzują się różnymi barwami. Fala światła o długości około 350-380 nm ma barwę fioletową, wraz ze wzrostem jej długości barwa przechodzi w niebieską, potem zieloną, żółtą, pomarańczową i na końcu fal widzialnych czerwoną o długości około 650-700 nm (ryc. 2).



Ryc. 2. Widmo spektralne.
Fig. 2. Visible light spectrum.

Fale widzialne mogą pochodzić ze źródeł naturalnych bądź sztucznych [16,18]. Źródłami naturalnymi są emitery naturalne: słońce, księżyc oraz gwiazdy. Źródłami sztucznymi światła są generatory żarowe (np. ognisko, świeca, lampa naftowa, lampa gazowa, żarówka), w których emiterym jest rozgrzana - zazwyczaj przez człowieka - materia. Te wszystkie emitery generują promieniowanie, w tym widzialne przez człowieka światło białe, choć zwykle o nieco różnej długości. Źródła światła mogą mieć różną barwę, którą podaje się w stopniach Kelwina (K) [18]. Przy wartościach

około 2000-2500 K ich światło ma barwę zbliżoną do popularnych tradycyjnych żarówek i określane jest jako żółte i ciepłe, wartości około 3000-3300 K określane są jako neutralne, zaś powyżej 4500 K już jako niebieskie i zimne (ryc. 3).

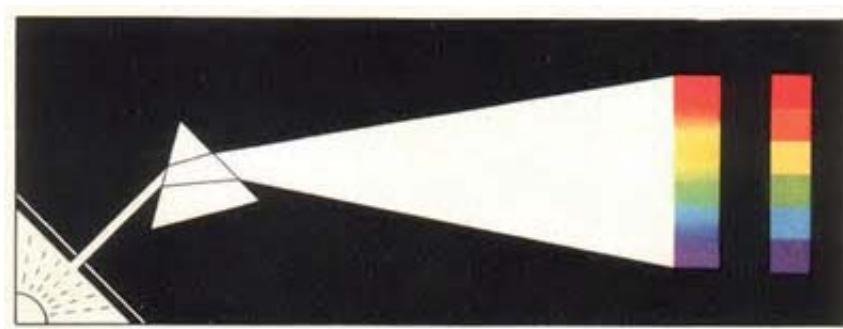


Ryc.3. Barwa światła w zależności od temperatury żarowej źródła światła.

Fig.3. Colour of light depending on temperature of light source.

Wydajność świetlna źródeł światła jest różna, np. w świeczce tylko około 0.125%, a w tradycyjnej żarówce tylko około 1% promieniowania przez nie produkowanych znajduje się w paśmie widzialnym, większość zaś w podczerwieni i m.in. dlatego światło to określamy jako ciepłe. Dla źródeł światła, w których emiterym jest rozgrzany gaz (np. w świetłówkach) ponad 90% produkowanych przez nie energii jest emitowanych w paśmie widzialnym [16]. Dlatego właśnie z powodu niskiej efektywności świetlnej wycofywane z użytku są tradycyjne żarówki, zaś coraz większą popularność zyskują źródła światła gazowe (świetłówki) oraz diodowe (LED), których zastosowanie pozwala na zmniejszenie ich mocy, co przekłada się na niższy koszt zużytej do oświetlenia energii elektrycznej.

Z powodu różnych barw źródeł światła różna jest barwa obiektów przez nie oświetlanych. Jednak kiedy patrzymy bezpośrednio w te podstawowe źródła światła ich barwa jest prawie zawsze biała. Dzieje się tak ponieważ w widmie wszystkie barwy przechodzą bardzo płynnie jedna w drugą i ich zmieszanie daje barwę białą. Dopiero po jego rozszczepieniu, np. za pomocą pryzmatu (ryc. 4) można uzyskać jednocześnie widziane widmo wielobarwne.



Ryc. 4. Rozszczepienie białego światła przez pryzmat.

Fig. 4. Prismatic dispersion of the white light.

Różnorodność barw nas otaczających powstaje jednak w inny sposób. Kiedy światło pada na przedmiot, większa część wiązki światła jest przez nie pochłonięta po wnikięciu w strukturę ciała, a pozostała część (o ściśle określonej długości fali) zostaje odbita (i rozproszona) i ta część dociera do naszej siatkówki [18]. Proporcja

światła odbitego do światła pochłoniętego przez przedmiot decyduje o tym, jaką barwę zobaczymy oraz które fale z widma znajdują się w grupie fal odbitych, a które w grupie fal pochłoniętych. Stosowane powszechnie farby czy barwniki charakteryzują się właśnie zdolnością do pochłaniania większości fal, a odbijania tych o takiej długości, jakiej chcemy uzyskać wrażenie barwy.

Barwie przypisywane są takie atrybuty jak [15]:

- a) odcień – czyli kolor (np. czerwony, zielony czy żółty), który zależy do długości fali światła pobudzającej fotoreceptory,
- b) nasycenie – czyli udział koloru w barwie poprzez dodanie do koloru wiązki światła białego, wówczas przy zmniejszaniu nasycenia barwy do zera, niezależnie od odcienia barwy, uzyskuje się barwę białą,



- c) jasność (jaskrawość) - przy zmniejszaniu jasności do zera, niezależnie od odcienia barwy, uzyskuje się barwę czarną.

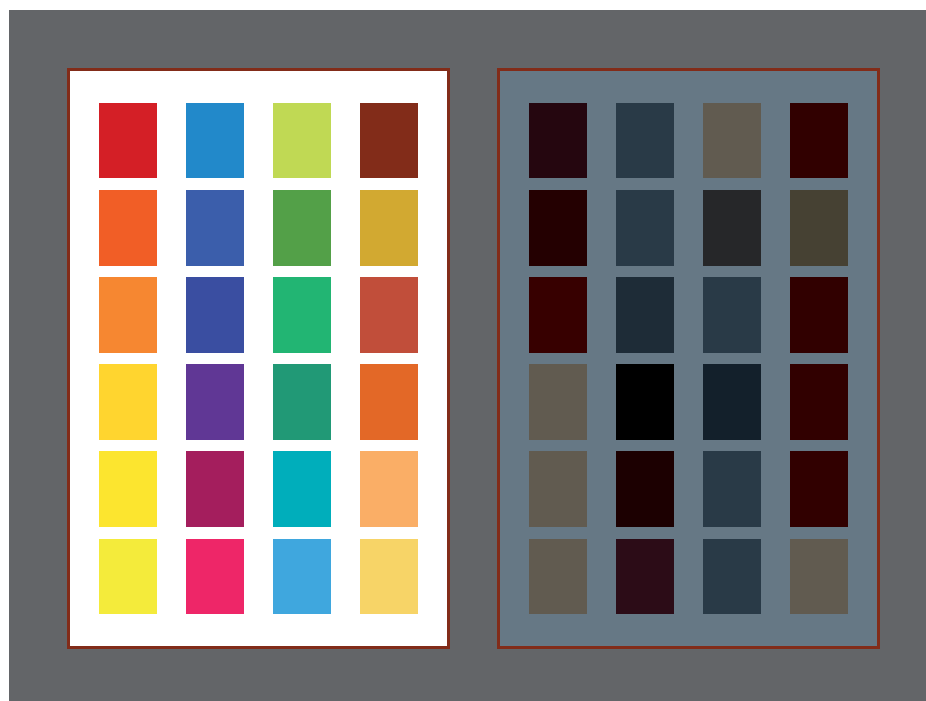


Te trzy właściwości barwy są ze sobą ściśle połączone wg prawa Bezolda-Brückego. Określa ono zależność, iż zmiana jednego atrybutu pociąga za sobą zmiany dwóch pozostałych. Można nimi dość swobodnie operować w większości nawet prostych programów komputerowych – np. edytorach tekstu.

b. energia fali światła

Aby wywołać w receptorach wzrokowych reakcję na barwne bodźce świetlne, światło musi mieć nie tylko ściśle określoną długości fali, ale również określoną energię [5,14]. Minimalne natężenie światła potrzebne po pobudzenia receptorów wzrokowych to 10^{-6} mililambertów w skali logarytmicznej (log mL), przy czym wówczas pobudzane są jedynie pręciki odpowiadające za widzenie nocne i zmierzchowe [6,13]. W warunkach widzenia nocnego energia fotonów światła jest za słaba, aby pobudzić odpowiedzialne za widzenia barwne czopki, dlatego w nocy wszystko widzimy jedynie w odcieniach szarości.

W warunkach zmierzchowych, kiedy są pobudzane pręciki oraz w pewnym stopniu czopki widzenie barw jest ograniczone do rozróżniania zaledwie trzech tonów: niebieskofioletowego, zielonego i czerwonego [5] (ryc. 5), przy czym też zależy to od natężenia światła – im jest go więcej, tym rozróżniamy więcej odcieni.



Ryc. 5. Percepcja barw przy natężeniu światła 200 luxów i 0.2 luxów.
 Fig. 5. Perception of colours with illuminance 200 lux and 0.2 lux.

Natężenie światła o wartości powyżej 1 mililamberta w skali logarytmicznej ma zdolność do pobudzania wszystkich czopków. Wówczas ludzkie widzenie staje się komfortowe, z optymalną ostrością wzroku i pełną zdolnością do rozpoznawania wszystkich barw widma światła widzialnego. Potrafimy wówczas odróżnić około 160-180 tonów barw, choć nazwy własne ma zaledwie około 30. Człowiek natomiast potrafi nazwać około 40-50 [16] kolorów, ale te dodatkowe 20 nazw kolorów pochodzi z przyrody, gdzie różne zjawiska i obiekty mają swoje kolory dla nich charakterystyczne (np. łososiowy, cytrynowy, morski, kasztanowy).

Przy nadal wzrastającym natężeniu światła do 10^6 logmL natężenie światła jest tak duże, iż następuje zjawisko olśnienia i nasze rozróżnienie kolorów to zaledwie odróżnienie rozbielonych barw żółtej i niebieskofioletowej [5].

c. rozchodzenie się fali światła w różnych ośrodkach

Światło rozchodzi się nie tylko w powietrzu, ale także w różnych ośrodkach. Do strat energii światła dochodzi podczas jego odbicia oraz przechodzenia przez różne ośrodki, gdyż wówczas ulega ono rozproszeniu i rozszczepieniu na ich granicach (ryc. 6).



Ryc. 6. Przechodzenie fal przez różne ośrodki.

Fig. 6. Transmission of waves through different media.

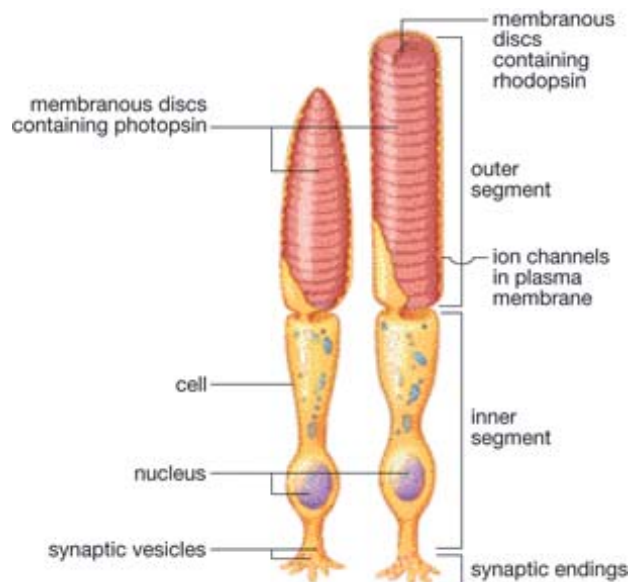
Ocenia się, że do siatkówki dociera zaledwie około 4% światła, które dochodzi do gałki ocznej, reszta pochłaniana jest przez rogówkę i soczewkę [15]. Od ośrodka, przez który biegnie światło również może zależeć barwa przedmiotów. Ośrodki mogą mieć bowiem zdolność do zmiany barwy światła – najprostszym przykładem są kolorowe okulary przeciwsłoneczne. Dlatego właśnie dla pilotów zalecane są okulary przyciemniające szare jako nie zmieniające percepcji kolorów. Nie zaleca się w lotnictwie stosowania okularów typu blue-blocker ani chromax, gdyż mogą one delikatnie przesunąć transmisję widma światła i zmieniać percepcję barw.

Inna transmisja światła może również dotyczyć samej gałki ocznej. Udowodnione jest, iż w pracach artystów malarstwa wraz z wiekiem przybywa w ich pracach odcieni niebieskiego. Dzieje się tak dlatego, iż wraz z wiekiem maleje przez soczewkę transmisja światła tej długości, dlatego chcąc ją osiągnąć malarze używają więcej farb w tym odcieniu [18]. Często pacjenci po operacji zaćmy z wszczepieniem sztucznej soczewki w jednym oku, a przed operacją drugiego jako jedną z dolegliwości podają różną percepcję barw przez oko po i przed operacją. Podobne zjawisko dotyczy pacjentów po operacji zaćmy, którzy w jednym oku mają wszczepioną soczewkę z filtrem światła żółtego, a w drugim bez tego filtra. Może to teoretycznie prowadzić w skrajnych przypadkach do konieczności wymiany jednej z tych soczewek na takie same w obu oczach. Ponieważ nie do końca jest określone znaczenie sztucznych soczewek wewnątrzgałkowych z filtrem światła żółtego w percepcji kolorów, niektóre państwa (np. Holandia) nie zalecają czynnym pilotom wszczepiania tych soczewek.

Międzynarodowe przepisy lotnicze (JAR FCL i planowane Part-Med) nie mają takich wytycznych dla personelu latającego, pilot musi prawidłowo odczytywać jedynie tablice pseudoizochromatyczne, co dla osoby z trichromatyzmem nie stanowi problemu niezależnie od rodzaju wszczepionej sztucznej soczewki wewnątrzgałkowej. W medycynie lotniczej jedyne zalecenia co do nie wszczepiania soczewek barwionych dotyczą kontrolerów ruchu lotniczego i jest to ujęte w odnośnych przepisach [7]. Doniesienia dotyczące zalet i wad soczewek wewnątrzgałkowych z filtrem światła niebieskiego są źródłem sporów okulistów i fizjologów. Przeciwnicy tych soczewek podnoszą problem ograniczania transmisji światła sumarycznie o około 35% przez blokowanie światła z niebieskiej części widma. To zaś może powodować pogorszenie widzenia nocnego oraz poczucia kontrastu, niepotrzebnie sprowadzać widzenie do odpowiadającego soczewce w wieku 60 lat oraz wpływać niekorzystnie na rytmy okołodobowe. Wszczepianie sztucznych wewnątrzgałkowych soczewek niebarwionych ma powodować z kolei powrót do transmisji światła jak dla oka w wieku 19-20 lat oraz nie wpływać na rytmy okołodobowe i skłonności do depresji.

2. Proces fizjologiczny widzenia barw

Człowiek posiada dwa rodzaje fotoreceptorów wzrokowych – czopki i pręciki. Pręciki odbierają jedynie światło o charakterystyce barwy szarej w różnych odcieniach jako silniejsze i słabsze. Czopki natomiast charakteryzują się zdolnością do odbierania bodźców jako różnokolorowych i przewodzenia impulsów określających barwy [5,8,11].



Ryc. 7. Budowa pręcików (rod) i czopków (cone) [wg.9].

Fig. 7. Structure of rod and cone.

Podstawy aktualnej do dnia dzisiejszego trójchromatycznej teorii barw stworzył już w 1802 roku Young, a rozwinął ją w 1866 roku Helmholtz. Założyli oni istnienie trzech rodzajów receptorów reagujących na barwy podstawowe: czerwoną, zieloną i niebieską. Ich tezy ostatecznie potwierdzili po ponad 100 latach Baylor (1984 r.) i Nathans (1986 r.), którzy udowodnili istnienie trzech rodzajów czopków zawierających światłoczułe barwniki różniące się nieco budową jednego z kluczowych dla percepcji barw białek – opsyn. Są to porfiropsyna, ksantopsyna i rodopsyna. Wyodrębniono te białka z czopków i określono, iż mają one krzywe adsorpcji różniące się między sobą długością fal je uwrażliwiających i powodujących powstanie impulsu barwnego [1,5] (tab.1).

Tab. 1. Krzywe adsorpcji opsyn
Tab.1. Opsin adsorbition curve

	Czopki niebieskoczułe	Czopki zielonoczułe	Czopki czerwonoczułe	Pręciki
Zakres adsorpcji	330-550 nm	400(450)-680 nm	450-720 nm	420-590 nm
Adsorpcja maksymalna	420-445 nm	535 nm	558-575 nm	500 nm

Różnice te wynikają z odmiennej budowy opsyn: różnic w wiązaniu chromoforu z białkiem oraz oddziaływania łańcucha wiązań sprzężonych chromoforu z ładunkami elektrycznymi znajdującymi się w jego sąsiedztwie. Mutacje genów kodujących poszczególne opsyny są odpowiedzialne za zaburzenia rozpoznawania barw właśnie w tych trzech osiach: czerwonej (protanomalia i protanopia), niebieskiej (tritanomalia i tritanopia) oraz zielonej (deuteranomalia i deuteranopia) [5, 15]. Najstłynniejszą osobą z zaburzeniami rozpoznawania barw był twórca nowoczesnej atomistyki John Dalton, który obserwacji zaburzeń barw dokonał na sobie i je dokładnie opisał („Extraordinary Facts Relating to the Colour Vision” Manchester 1798) [18]. Od niego pochodzi nazwa daltonizm, którą obecnie zastąpiono pojęciem dichromatyzmu, czyli prawidłowym rozpoznawaniem barw tylko w 2 osiach zamiast w 3 (trichromatyzm).



Ryc. 8. Różnice w spostrzeganiu barw przez dichromatów.
Fig. 8. Differences of colour perception by dichromats.

Każdy z trzech rodzajów czopków jest pobudzany w pewnym zakresie przez wszystkie fale świetlne, choć najbardziej przez te, na które jest najbardziej wrażliwy. Dlatego niemożliwe jest wywołanie wrażenia barwy całkowicie nasyconej przez pobudzenie tylko jednego rodzaju czopków.

Z drugiej jednak strony te pobudzenia zaledwie trzech rodzajów czopków powodują możliwość poprzez zmieszanie trzech barw podstawowych percepcji prawie

dowolnej ilości barw. Szacuje się, iż każdy człowiek jest teoretycznie w stanie odróżnić od 300 000 do 1 000 000 barw.

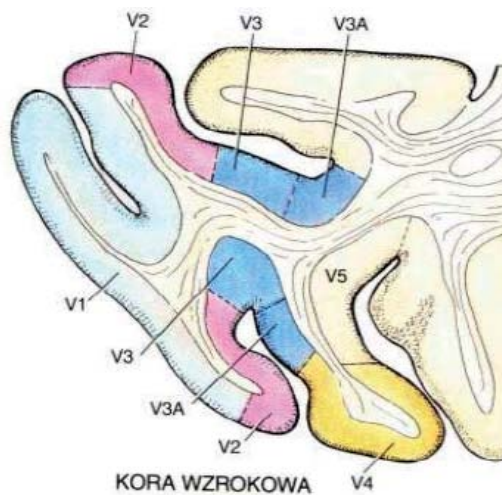
Czułość oka na fale świetlne o różnej długości nie jest jednakowa w całym widzialnym widmie. Nasz układ wzrokowy jest najbardziej wrażliwy na fale o długości 490-500 nm, gdzie odróżniamy różnice zmiany długości fali o 1 nm. Dla innych długości zmiany te muszą być większe [5].

W procesie fototransdukcji, czyli zamiany światła na impuls elektryczny, na skutek pobudzenia fotoreceptorów wzrokowych przez kwanty światła powstaje szereg procesów biochemicznych. Procesy te, związane z depolaryzacją i hyperpolaryzacją komórek fotoreceptorów, komórek dwubiegunowych i zwojowych generują w różnych układach powstanie szeregu jednoczesnych, dopełniających oraz przeciwstawnych impulsów bioelektrycznych. Impulsy te drogą nerwów wzrokowych, skrzyżowania wzrokowego, ciał kolankowatych bocznych (gdzie dochodzi do kolejnej modulacji wrażeń barwnych) i promienistości wzrokowej docierają do kory mózgowej [5,8].

3. Proces psychiczny widzenia barw

Proces powstawania ostatecznego, uświadomionego obrazu w korze mózgowej z impulsów bioelektrycznych jest bardzo skomplikowany i nie do końca wyjaśniony. Dzieje się on nie tylko w samej korze wzrokowej, ale również dzięki licznym, wielopoziomowym i wielokierunkowym połączeniom w korze ruchowej, korze czuciowej, podwzgórze, układzie limbicznym, wzgórkach czworaczych wraz z nieodzownym udziałem wyższych czynności psychicznych [5,8].

Kora wzrokowa odpowiedzialna za tworzenie obrazów to wg podziału Brodmana pola 17, 18 i 19. Za postrzeganie barwne odpowiedzialny jest fragment drobno-komórkowego szlaku wzrokowego określanego jako V4 (ryc. 9). Mieści się on w polu 19 i jest częścią tzw. drugorzędowej kory wzrokowej [15].



Ryc. 9. Kora wzrokowa [wg 18].
Fig. 9. Visual cortex.

Uszkodzenia tej części kory stwierdzono endemicznie na wyspie Norweskiej i Mikronezyjskiej. Około 8 % populacji osób je zamieszkujących cechuje całkowita achromatopsja, czyli niezdolność do rozpoznawania barw, zaś nosicielami genu jest około 30% populacji [17].

Proces widzenia w aspekcie psychologicznym wg teorii dwóch systemów wzrokowych (Goodale, Milner, 1992; Norman, 2001) można podzielić na analizę ruchu i przestrzeni oraz analizę kształtów i kolorów [4,8,12]. W analizie ruchu i przestrzeni większość funkcji odbywa się nieświadomie jako najprostszy proces psychiczny - odbieranie wrażenia tylko jednej cechy przedmiotu (np. jasności, barwy, kształtu, ruchu itp.). W analizie kształtów i kolorów nasz mózg świadomie rozpoznaje, identyfikuje i analizuje wszystkie dostępne informacje i konfrontuje je z zapamiętanymi wcześniej wrażeniami, nie tylko wzrokowymi, ale min. słuchowymi czy zapachowymi. Dlatego np. barwę liści na wiosnę określimy zawsze jako zieloną, a cytrynę jako jasnożółtą, pomimo iż w słabym oświetleniu mogą one być widziane jako szare.

Psychiczne postrzeganie barw zależy również od właściwości otaczających obserwowany przedmiot obiektów [15,18]. Ważne są nie tylko ich obecność w polu widzenia ale i bliskość przestrzenna, podobieństwo (kształtu, rozmiaru, koloru, jednoczesnego występowania), kierunek ruchu lub chwilowe nastawienie (zgodne lub przeciwne), kontrast oraz doświadczenia i przyzwyczajenia w obserwowaniu obiektów. Ta sama barwa w otoczeniu innych barw może być odbierana jako zupełnie inna (indukcja przestrzenna, ryc. 10).



Ryc. 10. Wpływ kontrastu na barwę – indukcja przestrzenna.

Fig. 10. Influence of contrast changes on the colour perception – spatial induction.

Również po dłuższej obserwacji przedmiotu o określonej barwie i jego gwałtownym usunięciu w pamięci pozostaje obraz tego przedmiotu o różnej, zależnej od koloru tła barwie (indukcja czasowa). Te złudzenia wzrokowe możemy dość łatwo wywołać, zresztą spotykamy się z nimi w sposób często nieświadomy w życiu codziennym np. oglądając reklamy telewizyjne. Większość kampanii reklamowych opiera się bowiem na wywołaniu skojarzeń danej marki z określonym efektem graficznym o określonym kolorze.

4. Percepcja barw w medycynie lotniczej

W praktyce klinicznej dość często spotykamy zaburzenia rozpoznawania barw – wrodzone lub nabyte. Rzadziej spotykane są zaburzenia nabyte i zazwyczaj dotyczą one osób po stosowaniu leków (np. glikozydy naparstnicy, środki psychoaktywne) oraz w chorobach nerwu wzrokowego (neuropatia cukrzycowa, toksyczna, zapalenia nerwu wzrokowego) i siatkówki (AMD, centralna surowicza neuropatia). W zdecydowanej większości przypadków anomalie widzenia barwnego są wrodzone i ta grupa

dotyczy około 8,0% mężczyzn oraz 0,5% kobiet [18]. Z tej statystyki wynika, że w Polsce nieprawidłowo rozpoznaje barwy ponad 1,5 miliona osób! Ale w większości przypadków zaburzenia te nie powodują większych problemów ani ograniczeń w życiu codziennym. Osoby te nieprawidłowo rozpoznają zazwyczaj tylko odcienie jednej z trzech barw podstawowych (najczęściej koloru zielonego i czerwonego). Prawie wszyscy dichromaci prawidłowo rozpoznają barwy podstawowe, co np. nie dyskwalifikuje ich z uzyskania prawa jazdy czy pracy przy monitorach ekranowych. Znaczenia nabierają dopiero wówczas, kiedy osoby z zaburzeniami rozpoznawania barw decydują się na specyficzne zawody, jak np. elektryk czy pilot. Tutaj pojawia się podział na osoby z bezpiecznymi i niebezpiecznymi (colour safe, colour unsafe) zaburzeniami rozpoznawania barw. Osobami z bezpiecznymi zaburzeniami barw będą np. graficy czy artyści, którzy co prawda mogą błędnie analizować i zestawiać barwy, ale nie stanowi to zagrożenia dla bezpieczeństwa innych ludzi. Ale np. elektryk, który przy słabym oświetleniu nieprawidłowo odróżnia zabrudzone kable elektryczne, czy pilot nie rozpoznający prawidłowo świateł nawigacji lotniczej w niekorzystnych warunkach oświetlenia i kontrastu (np. w nocy podczas opadów deszczu lub śniegu) będą zaliczać się do grupy osób z niebezpiecznymi zaburzeniami rozpoznawania barw.

W międzynarodowych przepisach lotniczych (JAR FCL i planowane Part-Med) również problematyka rozpoznawania barw ma swoje miejsce [4]. Pilot musi prawidłowo odczytywać zakodowane cyfry w tablicach pseudoizochromatycznych. Najpowszechniej stosowane są tablice Ishihary, ale można także korzystać z tablic Stillinga-Velhagena, Dvorine'a, Boströma – Kugelberga. Jeżeli kandydat lub pilot odczytuje je nieprawidłowo, wówczas musi przejść dodatkowe badania na anomaloskopie. Referencyjnym anomaloskopem jest urządzenie skonstruowane przez Nagel'a, w którym dopuszczalne jest przesunięcie w percepcji barw o 4 jednostki – wówczas kandydat określany jest jako prawidłowo rozpoznający barwy. Dopuszczalne są jednak również inne anomaloskopy, które często po badaniu od razu wyświetlają wynik badania i stopień zaburzeń. Jeżeli wówczas badany również ma złe wyniki następnym krokiem jest badanie percepcji barw na specjalnych lampach (Spectrolux, Beynes lub Holmes-Wright), które muszą być rozpoznane prawidłowo. Międzynarodowe przepisy lotnicze (JAR-FCL i Part-Med) w klasie I, II i III dopuszczają nieznaczne zaburzenia rozpoznawania barw (anomalie) w jednej osi. Osoby z takimi zaburzeniami rozpoznają w zdecydowanej większości prawidłowo światła lamp referencyjnych. Większe zaburzenia (anopie lub anomalie więcej niż w jednej osi) dyskwalifikują kandydatów klasy I i III, natomiast kandydaci klasy II mogą być dopuszczeni do pilotowania statków powietrznych tej klasy z ograniczeniem tylko w dzień (wg starszych przepisów JAR-FCL). Wg planowanych przepisów Part-Med również kandydaci klasy II będą musieli mieć bezpieczne zaburzenie rozpoznawania barw.

Często zadawane jest również pytanie o możliwości poprawy deficytów widzenia barwnego. Niestety - są to zaburzenia wrodzone, które podlegają dziedziczeniu związanemu z chromosomem X (zaburzenia rozpoznawania barwy czerwonej i zielonej) lub chromosomem 7 (najrzadziej spotykane zaburzenia rozpoznawania barwy niebieskiej) zgodnemu z prawami Mendla. Skutkują one nieprawidłową budową opsyn wrażliwych na określone długości światła, co determinuje brak prawidłowych

pobudzeń fotoreceptorów odpowiadających za percepcję odpowiednich do długości fali barw [1,8]. Wprawdzie istnieją specjalne okulary barwne, które poprzez zmianę długości barwy światła oraz kontrastu mogą pozwalać na prawidłowe odczytywanie np. tablic Ishihary, ale osoby takie nie mogą być uznane za prawidłowo rozpoznające barwy [4]. W warunkach niedostatecznego oświetlenia i kontrastu osoby takie będą miały dalej problem z prawidłowym rozpoznawaniem i nazywaniem barw. Dlatego badanie widzenia barwnego zawsze odbywać się powinno bez korekcji lub w szklach własnych pacjenta niebarwionych.

Znajomość problematyki zaburzeń percepcji barw w medycynie lotniczej ma znaczenie dla prawidłowej kwalifikacji do zawodu związanego z lotnictwem już na początku kariery, przed rozpoczęciem szkolenia. Pozwala na wykluczenie tych osób już na etapie wstępnej kwalifikacji tak, aby ograniczyć koszty niepotrzebnego szkolenia, umożliwić tym osobom podjęcie decyzji o karierze zawodowej odpowiedniej do ograniczeń zdrowotnych oraz nie stwarzać możliwości popełnienia błędu podczas pracy związanej z bezpieczeństwem lotów. Rozmowy z osobami, które są dyskwalifikowane z powodu zaburzeń rozpoznawania barw z wymarzonego zawodu są często trudne, pełne emocji i obietnic. Osoby te nie mają przede wszystkim świadomości ograniczeń, gdyż zazwyczaj świat oglądany przez nie jest taki sam od urodzenia i wydaje im się, że tak, jak oni postrzegają barwy jest normą. Nie godzą się na ograniczenia z powodu defektu zdrowotnego, którego nie widzą (dosłownie), nie rozumieją i próbują bagatelizować. Należy jednak pamiętać, że ważniejsza jest odpowiedzialność za bezpieczeństwo ruchu lotniczego, a pacjent zawsze może powiedzieć na końcu, że to nie on się sam dopuścił do pracy. Dlatego nie należy się obawiać zdyskwalifikować takiej osoby z pracy z podaniem możliwości odwołania. Wówczas emocje opadają, a osoba taka albo sama podejmuje decyzje o rezygnacji ze szkolenia, albo już jest przygotowana na ograniczenia w możliwościach wykonywania określonego zawodu. Wówczas kolejna rozmowa jest już łatwiejsza, a doświadczenie w rozmowach pozwala na spokojne wyjaśnienia przyczyn ograniczeń lub dyskwalifikacji.

Piśmiennictwo

1. Applebury, M.L., Hargrave, P.A.(1986). Molecular biology of the visual pigment. *Vision Res*, 26, 1881-1895.
2. Bąk, J. (2004). Psychologiczne badania kierowców, *Bezpieczeństwo Pracy*, 6,12-15.
3. Duch, W. (2002). Modułarna budowa mózgu. Zmysły i ruch – wykłady, Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, UMK, Toruń.
4. Goodale, M.A, Milner, A.D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci.*,15(1), 20-25.
5. Komorowska-Gruntmeyer, M., Pastuszka, M., Jurowski, P., Gos, R.(2011). Wybrane zagadnienia dotyczące fizjologii widzenia. *Kontaktologia i optyka okulistyczna*, 1(3), 33-40.
6. Lale, G.E. i wsp.(1959). Night vision, *Springfield*, 14-21, 67-127.

7. Licencjonowanie personelu lotniczego (wymagania medyczne), JAR - FCL Dz.U.z 26.VIII.2003 r., nr 167, 3-105.
8. Matthews, G.G. (2000). Neurobiologia. Od cząsteczek i komórek do układów, WL PZWL, Warszawa, 382-441.
9. McGraw-Hill Ryerson (2007). Inquiry into Biology, Whitby, 2007, 415, fig. 12.15.
10. Miller, R.E. II. (1990). Aerospace Ophthalmology. The Flight Surgeon's Handbook, chapter 8. USAF School of Aerospace Medicine, Brooks AFB, Texas, July 1990.
11. Miller, R.E., Tredici, T.J. (1992). Night vision in military aviation [W:] Night vision manual for the flight surgeon. USAF School of Aerospace Medicine, Brooks AFB, Texas.
12. Milner, A., Goodale, M.A. (2008). Mózg wzrokowy w działaniu, PWN, Warszawa.
13. Młodkowski, J. (1998). Aktywność wizualna człowieka, PWN, Warszawa, Łódź.
14. Owsley, C., Sloane, M.E. (1987). Contrast sensitivity, acuity, and the perception of 'real-world' targets, British J Ophthalmology, 71(10), 791-796.
15. Pastuszek, W. (2005). Trzy spojrzenia na barwę, PZWL, Warszawa, 65, 73-82.
16. Różycki, R., Stankiewicz, A. (2001). Natura światła, Kontaktologia i optyka okulistyczna, 1(3), 3-10.
17. Sachs, O. (2000). Wyspa daltonistów i wyspa sagowców, Zysk i s-ka, Warszawa.
18. Zausznica, A. (2012). Nauka o barwie, PWN, Warszawa.