

(41) **Wpływ barwników plamki na proces widzenia*****The effect of macular pigments on vision***Anna Bonczar¹, Ewa Mrukwa-Kominek^{1,2}¹ Oddział Okulistyki Dorosłych, Uniwersyteckie Centrum Kliniczne im. prof. K. Gibińskiego Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach² Klinika Okulistyki Katedry Okulistyki Wydziału Lekarskiego w Katowicach Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Ewa Mrukwa-Kominek

Streszczenie: Narząd wzroku, odpowiedzialny za procesy widzenia, jest narażony na niepożądane działania promieniowania. Obecność tlenu i fotonu jest wystarczającym warunkiem do powstawania wolnych rodników, które prowadzą do nieodwracalnych i nieuleczalnych zmian degeneracyjnych w obrębie plamki, siatkówki i soczewki. Istnieje coraz więcej dowodów, że barwniki plamki – karotenoidy: luteina i zeaksantyna, chronią siatkówkę i soczewkę przed szkodliwymi czynnikami powstałymi w procesie widzenia. Dlatego w ostatnich latach znacząco wzrosło stosowanie suplementów diety – luteiny i zeaksantyny, a autorzy coraz większej liczby doniesień wskazują, że ich przyjmowanie poprawia ostrość wzroku i widzenie oraz korzystnie wpływa na profilaktykę zwyrodnień plamki związanych z wiekiem. Poprawa jakości widzenia jest spowodowana wpływem barwników plamki na procesy biologiczne oraz optyczne. W pracy przedstawiono mechanizmy działania karotenoidów w procesie widzenia.

Słowa kluczowe: barwniki plamki, luteina, zeaksantyna, suplementacja, proces widzenia.

Summary: The eye responsible for visual processes is exposed to the side effects of radiation. The presence of oxygen and photon is sufficient for the formation of free radicals, which induce irreversible and incurable degenerative changes within the macula, retina and lens. There is an increasing body of evidence to support protective role of macular pigments – carotenoids: lutein and zeaxanthin – in preventing retinal and lens damage. As a result, lutein and zeaxanthin dietary supplements have become increasingly more popular in recent years and an increasing number of reports indicate that their intake improves visual acuity and quality of vision, whilst contributing to the prevention of age-related macular degeneration. Vision improvement seen in patients using lutein and zeaxanthin supplements can be attributable to changes in the underlying biological and/or optical processes. The paper discusses the impact of carotenoids on vision.

Key words: macular pigment, lutein, zeaxanthin, supplementation, process of vision.

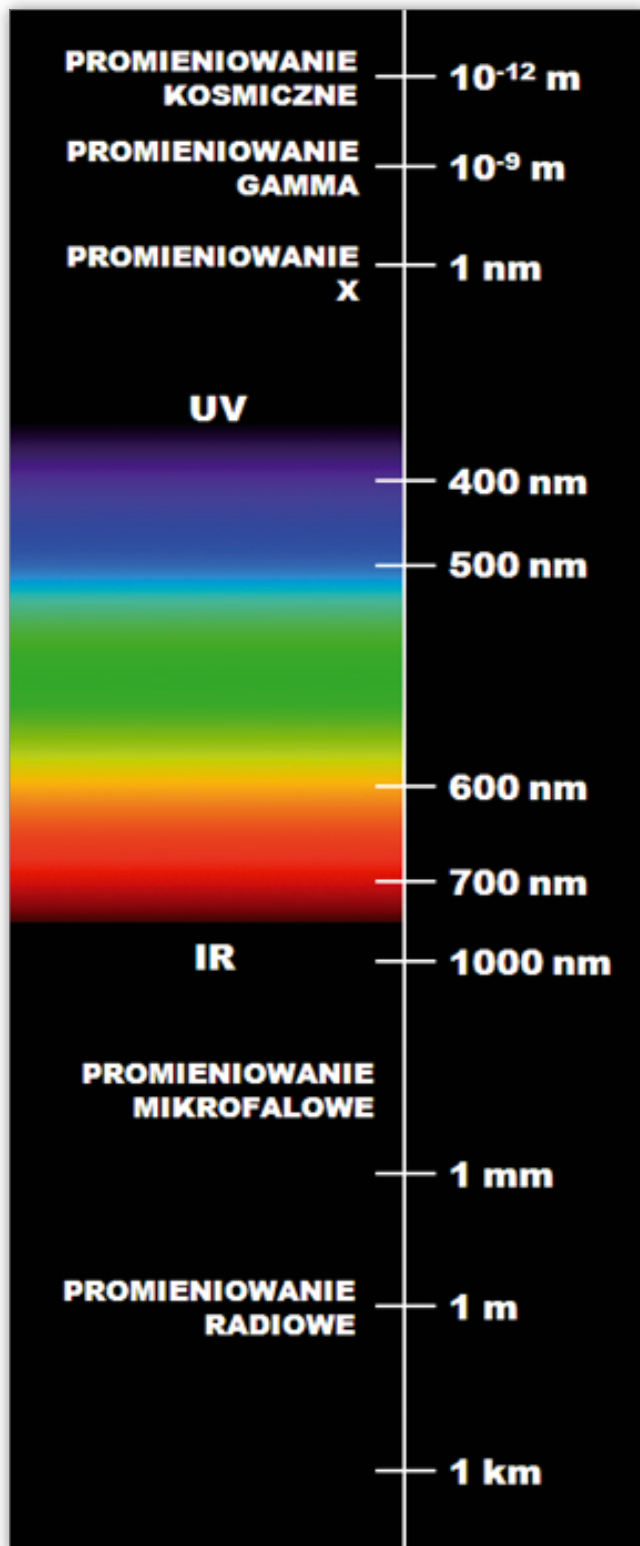
Autorzy zgłaszają brak konfliktu interesów w związku z publikowaną pracą/ The authors declare no conflict of interest

Proces widzenia

Działanie narządu wzroku opiera się na procesie, w który są zaangażowane liczne elementy związane ze zjawiskami fizycznymi i fizjologicznymi (1). U człowieka ten proces przebiega z udziałem jednego z głównych zmysłów, za pośrednictwem którego jest odbierane około 90% ogółu napływających informacji. Proces widzenia składa się z fazy postrzegania określonego zjawiska, a następnie z fazy jego identyfikacji i analizy. Gałka oczna jest narządem, w którym obraz jest zarejestrowany i wstępnie przetworzony przez siatkówkę, a następnie nerwem wzrokowym (n. II) kierowany do ośrodkowego układu nerwowego. Zjawiskiem fizycznym, niezbędnym w procesie widzenia, jest emisja światła o określonych własnościach fizycznych. Światło jest widzialnym promieniowaniem (elektromagnetycznym) zdolnym do wywoływania u człowieka i zwierząt bezpośrednio wrażeń wzrokowych. Przyjmuje się, że to widzialne promieniowanie jest częścią widma fal elektromagnetycznych o bardzo wąskim przedziale długości fal – od 380 do 780 nm. Oko natomiast jest narażone na znacznie szerszy zakres promieniowania – od nadfioletowego do podczerwonego (ryc. 1.). Promieniowanie krótkofalowe jest wysokoenergetyczne, długofalowe natomiast, niosące kwanty niskoenergetyczne (>600 nm), wykazuje zdolność

do przenikania w głąb oka. Promieniowania krótko- i długofalowe są niebezpieczne i mogą powodować biologiczne uszkodzenia. W zakresie światła widzialnego czułość oka na fale świetlne o różnej długości nie jest jednakowa. Układ wzrokowy jest najbardziej wrażliwy na fale o długości 490–500 nm. W tych zakresach ludzkie oko jest w stanie rozróżnić zmiany długości fali o jeden nanometr. Dla innych długości te zmiany muszą być większe.

Kolejnym etapem w procesie widzenia jest proces fizjologiczny pobudzenia receptorów siatkówki oka i wyzwolenia impulsu nerwowego, który jest przekazywany do kory mózgowej. Za tę część procesu są odpowiedzialne receptory siatkówki – czopki i pręciki. W momencie pobudzenia światłem dochodzi do chwilowej zmiany ich struktury chemicznej i powstania elektrycznego impulsu przewodzonego do mózgu włóknami nerwowymi. Pręciki są wysoce światłoczułe i odpowiedzialne głównie za wykrywanie kształtu i ruchu. Nie mogą one jednak rozróżniać kolorów. Odbierają jedynie światło o charakterystyce barwy szarej w różnych odcieniach jako silniejsze i słabsze. Czopki natomiast są mniej wrażliwe na światło, ale odpowiadają za zdolność rozróżniania kolorów. Umożliwiają również postrzeganie szczegółów. Połączenie właściwości obu receptorów stwarza



Ryc. 1. Długości fal elektromagnetycznych w zakresie światła widzialnego w wersji chromatycznej (barwnej), w kontekście innych długości fal elektromagnetycznych; m – metr, nm – nanometr, mm – milimetr, km – kilometr.

Źródło: Klinika Okulistyki Katedry Okulistyki Wydziału Lekarskiego w Katowicach Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

Fig. 1. Length of the electromagnetic waves in the visible light range version of the chromatic (color) in the context of other electromagnetic wavelengths; m – meter, nm – nanometer, mm – millimeter, km – kilometer.

From: Department of Ophthalmology School of Medicine in Katowice, Medical University of Silesia.

zdolność do identyfikacji obiektów, orientacji przestrzennej oraz rozróżniania kolorów, a więc najważniejszych elementów procesu widzenia (2). Barwne widzenie poprzez tworzenie kontrastu między przedmiotami pozwala na ich szybsze i sprawniejsze identyfikowanie, a tym samym dostarcza niezbędnych informacji do orientacji przestrzennej.

Podstawy tróchromatycznej teorii barw już w 1802 roku stworzył Young, a rozwinął ją w 1866 roku Helmholtz. Założyli oni istnienie trzech rodzajów receptorów reagujących na barwy podstawowe: czerwoną, zieloną i niebieską. Te tezy zostały ostatecznie potwierdzone w badaniach Baylora z 1984 roku i Nathansa z 1986 roku (1). Udowodnili oni istnienie trzech rodzajów czopków różniących się budową jednego ze światłoczułych białek – opsyny. Wyodrębnione z czopków białka – porfiropsyny, ksantopsyny i rodopsyny, różnią się między sobą długością fal, na które są wrażliwe i które powodują powstanie impulsu barwnego. Każdy z trzech rodzajów czopków jest pobudzany w pewnym zakresie przez wszystkie fale świetlne, choć najbardziej przez te, na które każdy z nich jest najbardziej wrażliwy. Dlatego wywołanie wrażenia barwy całkowicie nasyconej w wyniku pobudzenia tylko jednego rodzaju czopków nie jest możliwe. Z drugiej jednak strony zmieszanie trzech barw podstawowych powoduje możliwość percepcji prawie dowolnej liczby barw. Szacuje się, że teoretycznie każdy człowiek jest w stanie odróżnić od 300 000 do 1 000 000 barw (1, 3). Pobudzenie fotoreceptorów wywołuje fototransdukcję, czyli zamianę światła na impuls elektryczny, podczas której powstaje szereg procesów biochemicznych. Te procesy są związane z depolaryzacją komórek fotoreceptorów, komórek dwubiegunowych i zwojowych oraz generują w różnych układach powstanie wielu jednoczesnych – dopełniających oraz przeciwstawnych, impulsów bioelektrycznych. Te impulsy docierają do kory mózgowej drogą nerwów wzrokowych, skrzyżowania wzrokowego, ciał kolankowatych bocznych (w których dochodzi do kolejnej modulacji wrażeń barwnych) i promienistości wzrokowej. W obrębie kory mózgowej dokonuje się ostatnia faza procesu widzenia – psychiczna – przetworzenia impulsu elektrycznego w obraz. Proces powstawania ostatecznego, utrwalonego w korze mózgowej, obrazu z impulsów bioelektrycznych jest bardzo skomplikowany i nie do końca wyjaśniony. Przebiega on nie tylko w samej korze wzrokowej, ale również – dzięki licznym, wielopoziomowym i wielokierunkowym połączeniom – w korze ruchowej, korze czuciowej, podwzgórzu, układzie limbicznym oraz wzgórkach czworaczych, wraz z udziałem wyższych czynności psychicznych (4, 5).

Aktywność biologiczna plamki

Plamka stanowi okrągły obszar w tylnym biegunie siatkówki, której wewnętrzna warstwa zawiera żółty barwnik – ksantofil i karotenoidy – luteinę i zeaksantynę w wyższym stężeniu niż w siatkówce obwodowej. Jest to miejsce, w którym rozdzielczość widzenia jest największa w wyniku najintensywniejszego zagęszczenia czopków, a jednocześnie „intensywnie pracujące” i charakteryzujące się dużym metabolizmem komórek. Taka aktywność metaboliczna sprzyja powstawaniu potencjalnie szkodliwych wolnych rodników, zwłaszcza tlenowych. Te procesy są nieodłącznymi elementami metabolizmu komórkowego i nie stanowią zagrożenia w sytuacji ich szybkiej inaktywacji przez

obecne w komórkach systemu obrony o charakterze antyoksydacyjnym. Tworzenie potencjalnie szkodliwych wolnych rodników jest wszechobecnym zjawiskiem zachodzącym w żywym organizmie w ciągu całego życia – w różnych typach komórek i tkanek. Stres oksydacyjny definiuje się jako zaburzenie równowagi prooksydacyjno-antyoksydacyjnej w kierunku reakcji utleniania, przebiegające z udziałem reaktywnych form tlenu (RFT, ang. Reactive Oxygen Species – ROS). Z kilku powodów siatkówka jest obszarem szczególnie predysponowanym do powstawania RFT. Jednym z ważniejszych jest wysokie ciśnienie parcjalne tlenu, który jest substratem dla rodników tlenowych. Siatkówka, a zwłaszcza jej fotoreceptory – te niezwykle intensywnie pracujące i charakteryzujące się intensywnym metabolizmem komórki, wymagają dużej ilości tlenu i składników odżywczych. Ze względu na duży popyt tlenu organizm zwiększa jego podaż i w siatkówce, w porównaniu z innymi tkankami, wysoki poziom substratu dla reaktywnych form tlenu sprzyja zatem ich generowaniu (6–9). Wyniki badań eksperymentalnych dowodzą, że największe stężenie tlenu występuje na poziomie naczyńówki oraz w zewnętrznych częściach siatkówki i w tym rejonie jest ono prawie siedmiokrotnie większe niż w innych tkankach (z wyjątkiem gruczołów nadnerczowych). Tworzeniu się w siatkówce wolnych rodników sprzyjają również inne czynniki – obecność wielonienasyconych kwasów tłuszczowych podatnych na działanie RFT oraz różnorodnych chromoforów, tzw. fotouwrażliwiaczy. Wśród nich wymienia się określone składniki lipofuscyny i pochodne kwasów tłuszczowych. W wyniku absorpcji światła przez endogenny lub egzogenny fotouwrażliwiacz powstaje bardziej reaktywna postać wzbudzonego fotouczulacza, która bierze bezpośredni udział w generowaniu RFT.

Procesy fizyczne związane z procesem widzenia

Promienie świetlne przechodzące przez soczewkę ogniskują się na plamce. Ogniskowa oka jednak jest proporcjonalna do długości fali światła. Oznacza to, że światło jest skupiane w różnych miejscach w zależności od długości fali. I tak, dla światła o długości fali 460 nm, długości dominującej w świetle dziennym, ogniskowa wynosi w przybliżeniu 1,2 dioptrii (10). Dla tych długości fali oko jest normowzroczne, dla innych długości – staje się krótkowzroczne lub nadwzroczne. Skupienie światła następuje więc przed siatkówką lub poza nią, powodując jego rozmycie. To zjawisko jest nazywane podłużną aberracją chromatyczną. Podobnie jest w procesie powstawania obrazu na siatkówce, który jest rzeczywisty, pomniejszony i odwrócony. To oznacza, że różne punkty obrazu, jak również różne jego kolory, są skupiane z inną siłą na siatkówce. Te różnice powodują powstanie kolorowej poświaty na krawędziach niektórych obiektów, to zjawisko nazywamy poprzeczną aberracją chromatyczną. Te oba zjawiska i to, że do oka dochodzi promieniowanie o różnych długościach fal, sprawia, że wiele obrazów powstających na siatkówce może być nieostre.

Barwniki plamki

Karotenoidy to barwniki syntetyzowane w organizmach roślinnych oraz bakteriach. Dotychczas zidentyfikowano ponad 600 karotenoidów, spośród nich zaledwie 10% występuje w codziennej diecie (11). Karotenoidy w organizmach roślinnych i zwierzęcych mają barwę od żółtej do czerwonej. W or-

ganizmie ludzkim są pochodzenia wyłącznie dietetycznego. Najpopularniejszymi karotenoidami występującymi w diecie są: α - i β -karoten, β -kryptoksantyna, luteina, likopen i zeaksantyna. W 1945 roku George Wald zanalizował barwnik plamki (nazywanej dawniej plamką żółtą), odkrywając, że za żółtą barwę są odpowiedzialne luteina, zeaksantyna i jej tlenowa forma – mezozeaksantyna. Zeaksantyna i mezozeaksantyna są dominujące w plamce, a luteina jest dominującym składnikiem peryferyjnej części siatkówki.

Porównując poszczególne ksantofile obecne w siatkówce, należy podkreślić, że luteina i zeaksantyna to składniki pochodzące z pożywienia (obecne i syntetyzowane w roślinach), mezozeaksantyna natomiast nie pochodzi z diety. Istnieje kilka dowodów na hipotezę, że mezozeaksantyna powstaje z luteiny w siatkówce oka. Mezozeaksantyny nie stwierdza się bowiem w osoczu ani w wątrobie, występuje ona natomiast w plamce. Bone i wsp. (12, 13) wykazali, że w osoczu stężenie luteiny jest wyższe niż zeaksantyny (odpowiednio 3: 1). Z kolei pojawiająca się w siatkówce dodatkowa postać ksantofilu – mezozeaksantyna, występuje odpowiednio do zeaksantyny i luteiny w stosunku 1: 1: 2. Omówiony rozkład ksantofilów wynika z tego, że luteina ulega konwersji enzymatycznej lub fotochemicznej do mezozeaksantyny. W oczach płodu, noworodków i dzieci do 2. roku życia obserwuje się znacznie mniejszą ilość mezozeaksantyny w porównaniu z ilością zeaksantyny, a dominującym karotenoidem jest luteina. To tłumaczy się niedorozwojem odpowiednich mechanizmów przekształcających luteinę w mezozeaksantynę. Zachodzącą w siatkówce przemianę luteiny w mezozeaksantynę potwierdzają również wyniki badań na małpach (13, 14).

Luteina i zeaksantyna są rozpuszczalne w tłuszczach i tłuszcz jest potrzebny zarówno do ich efektywnego wchłaniania w jelicie cienkim, jak i transportu drogą krwi do różnych tkanek organizmu. Dlatego produkty zawierające luteinę i zeaksantynę (tab. I) powinny być spożywane z posiłkiem zawierającym tłuszcz. Ilość tłuszczu potrzebna do sprawnego wchłaniania karotenoidów jest niewielka – od 3,0 do 5,0 g w posiłku. Ponadto przyswajanie luteiny i zeaksantyny ułatwiają należyte rozdrobnienie pokarmu (dokładne żucie) i gotowanie potraw. Obróbka termiczna żywności roślinnej powoduje destrukcję błon komórkowych i kompleksów karotenoidów z białkiem, to zwiększa biodostępność karotenoidów. Te związki są względnie odporne na podwyższoną temperaturę i przez to obróbka termiczna żywności nie zmniejsza ich biologicznych właściwości.

Luteina krystaliczna stosowana w suplementach pokarmowych przyswaja się łatwiej niż zawarta w żywności. Wyniki badań nad suplementacją diety luteiną i zeaksantyną wskazują na poprawę wydajności widzenia ludzkiego oka, kiedy stężenie barwników jest w nich odpowiednio wysokie. Co więcej, dystrybucja barwników i ich odkładanie się w siatkówce oraz innych tkankach oka poprawia się dzięki wykorzystaniu nośników luteiny. Liu i wsp. (15) w badaniach przeprowadzonych na modelu zwierzęcym (świnia) wykazali, że wykorzystanie nośnika luteiny w postaci hybrydy cyklodekstryny i zawiesiny mikrocząstek lipidowych zwiększa stężenie luteiny nie tylko w siatkówce, ale również w twardówce, która dotychczas stanowiła naturalną barierę dla karotenoidów. Zidentyfikowano również białka wiążące barwniki w plamce, takie jak transferazy S-glutationu (GSTP1), które mają większe powinowactwo do izomerów zeaksantyny niż luteiny. Scarmo i wsp. (16) wykazali,

Produkt Spożywczy/ Food product	Zawartość L + Z (mg/ 100 g)/ Content of L + Z (mg/ 100 g)
Brokuly/ Broccoli	2,40
Brukselka/ Brussels sprouts	1,59
Dynia (letnia)/ Pumpkin	2,12
Fasola w strączkach/ Leguminous beans	1,14
Groszek/ Peas	1,76
Jarmuż/ Kale	3,95
Kalafior/ Cauliflower	1,30
Kapusta/ Cabbage	3,10
Kukurydza/ Corn	8,84
Marchew/ Carrot	0,32
Marchew (juniorki)/ Baby carrots	3,50
Pietruszka/ Parsley	10,0
Pomarańcza/ Orange	1,87
Pomidor/ Tomato	1,30
Salata zielona/ Lettuce	2,63
Szpinak/ Spinach	11,9
Zielony groszek/ Green peas	1,35
Zielona kapusta/ Green cabbage	22,07

Tab. I. Źródło luteiny i zeaksantyny w warzywach i owocach. L – Luteina, Z – Zeaksantyna

Źródło: Szostak WB, Szostak-Węgierek D: Żywność w profilaktyce zwyrodnienia plamki żółtej. Przegląd Lekarski. 2008; 65/ 6: 308–311.

Tab. I. Source of lutein and zeaxanthin in vegetables and fruits. L – Lutein, Z – Zeaxanthin

From: Szostak WB, Szostak-Węgierek D: Nutrition in prevention of age related macular degeneration. Przegląd Lekarski. 2008; 65/ 6: 308–311.

że w ludzkiej skórze znajduje się inny barwnik z grupy karotenów – likopen, który wykazuje silne działanie ochronne przed promieniami UV. Kolejnym dowodem, jak ważne znaczenie dla organizmu ludzkiego mają karotenoidy, było wykrycie likopenu w skórze i białek wiążących w plamce. Wykazano również obecność karotenoidów w innych częściach mózgu, a zwłaszcza w ośrodkach wzrokowych płata potylicznego. Vishwanathan i wsp. (17) wykazali, że luteina jest dominującym karotenoidem w tkankach mózgu, a jej działanie jest związane z funkcją poznawczą u osób dorosłych. Wykazali oni również, że stężenie luteiny i mezozeaksantyny w korze potylicznej było zależne od ich stężenia w plamce. Dlatego pomiar gęstości barwnika w plamce pośrednio odzwierciedla wartości jego gęstości w korze potylicznej. Nie wykazano takiej korelacji w odniesieniu do zeaksantyny i do stężenia barwników w innych częściach mózgu – np. ciałach kolankowatych bocznych i hipokampie.

Rola barwników plamki

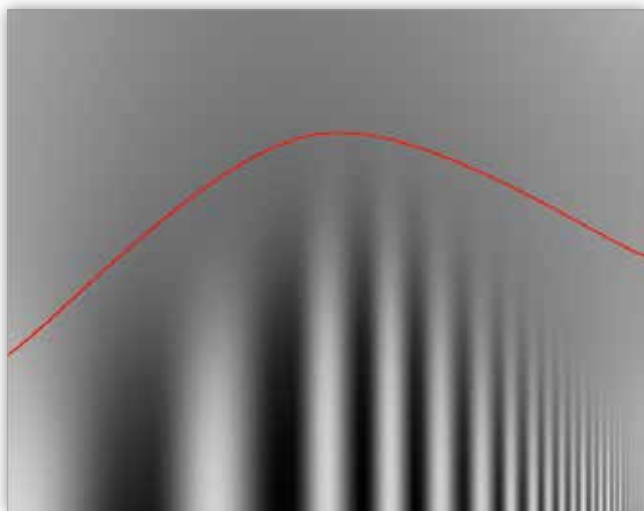
Istnieje coraz więcej dowodów, że luteina i zeaksantyna chronią siatkówkę i soczewkę przed zmianami związanymi z wiekiem (18–23). Zgodnie z teorią ochrony (18, 23–25) lu-

teina, zeaksantyna i mezozeaksantyna są w stanie pochłaniać niebieskie światło widzialne i dzięki temu chronią struktury oka przed niebezpiecznymi dawkami tego promieniowania. Ponadto te barwniki charakteryzują się silnymi właściwościami przeciwutleniającymi. Wspomagają niszczenie powstających pod wpływem promieniowania UV wolnych rodników, na których działanie szczególnie narażone są fotoreceptory. Są również skutecznymi wygaszaczami reaktywnych cząstek tlenu. To właśnie barwniki plamki dzięki swoim właściwościom są głównym czynnikiem odpowiedzialnym za funkcję antyoksydacyjną siatkówki (26). Istnieje wiele dowodów na to, że działanie barwników plamki na siatkówkę polega na jej ochronie przed procesami utleniania pod wpływem działania światła. Zostało to wykazane w badaniach na szczurach, przepiórkach oraz małpach (27). Wyniki badań z udziałem ludzi wykazały, że plamka, w której stężenie barwnika jest największe, jest również obszarem najbardziej odpornym na działania degeneracyjne. Obserwacje dowiodły również, że u chorych na zwyrodnienie plamki związane z wiekiem (ang. Age-related Macular Degeneration – AMD) stężenie barwników w plamce jest mniejsze, a wyniki badań epidemiologicznych wskazały, że mniejsze są również ich stężenia w surowicy i podaż w diecie. Dlatego suplementacja diety luteiną i zeaksantyną stała się obecnie bardzo popularna w propagowaniu ochrony siatkówki. Dostępne są preparaty zawierające w tabletkach większe ilości tych barwników – nawet do 25,0 mg luteiny. Dla porównania, Amerykanie w ciągu doby spożywają średnio około 1,0–1,5 mg luteiny. Modyfikacja diety bogatej w barwniki, wpływa na zwiększenie ich ilości w plamce (6, 11, 19, 28, 29), chociaż żadna suplementacja nie zastąpi dobrze dobranej diety (28, 29). Istnieją również przesłanki, chociaż niepotwierdzone, że te suplementy mogą poprawić ostrość wzroku u chorych na dziedziczne choroby siatkówki (zwyrodnienie barwnikowe siatkówki), AMD, a także zaćmę. Otwarte pozostaje pytanie nawiązujące do wcześniejszych poglądów na temat roli barwników w procesach widzenia, czy ta potencjalna poprawa widzenia po stosowaniu suplementów jest wynikiem pośredniej ochrony metabolicznej, czy bezpośredniego działania absorpcyjnego.

W 1866 roku Max Schultze po raz pierwszy opisał absorpcję widmową barwników plamki, to dało początek tzw. teorii ostrości. Schultze wysunął hipotezę, że barwniki plamki mogą poprawić ostrość wzroku w oświetleniu szerokopasmowym poprzez odfiltrowanie światła o wysokiej energii i o krótkich falach, zanim nastąpi jego absorpcja przez fotoreceptory. Przedstawił on zaskakujący argument, że widzenie poprawia się w warunkach mniej natężonego światła. Był on oparty na dobrze udokumentowanym fakcie, że długość optyczna oka jest proporcjonalna do długości fali światła. Przedstawiona przez Schultze'a teoria zakładała, że barwniki plamki wzmacniają ostrość wzroku w warunkach słabego oświetlenia, poprzez hamowanie efektu aberracji chromatycznej. Nowsze wyniki badań wykazały, że barwniki plamki zwiększają kinetykę adaptacji do widzenia w ciemności, która następuje w wyniku bardziej skutecznej regeneracji komórek receptorowych, a także zmiany wrażliwości czopków na promienie świetlne – one wpływają na utrzymanie prawidłowej percepcji barw (30). Aberracja chromatyczna nie jest jedynie związana z różnym skupianiem fal w zakresie światła widzialnego w oku, ale również z efektami optycznymi podczas patrzenia.

Dlatego w świetle współczesnych badań i obserwacji rozszerzono teorię ostrości o efekty optyczne – czułości kontrastu, luminancji, luminancji odbitej, zanieczyszczenia atmosfery jako czynnika załamującego promienie świetlne, i przedstawiono mechanizm działania barwników plamki w związku z tymi czynnikami. Nazwano to teorią widoczności (31–33). Czułość kontrastu to zdolność oka do różnicowania bodźców wzrokowych w zależności od ich częstotliwości. To zjawisko zakłada, że zwiększanie kontrastu danego obiektu poprawia czułość jego spostrzegania przez ludzkie oko, ale tylko do osiągnięcia określonej wartości kontrastu. Po przekroczeniu tej granicy czułość odbieranych bodźców nie zwiększa się. Barwniki plamki poza zdolnością hamowania zjawiska aberracji przyczyniają się również do poprawy czułości kontrastu obiektów, na które patrzymy (ryc. 2.).

Atmosfera ziemska, przez którą patrzymy na obiekty, za-



Ryc. 2. Czułość kontrastu – zdolność do różnicowania bodźców wzrokowych w zależności od ich częstotliwości. Oko nie różnicuje bodźców, kiedy częstotliwość jest zbyt mała lub zbyt wysoka.

Źródło: Klinika Okulistyki Katedry Okulistyki Wydziału Lekarskiego w Katowicach Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach.

Fig. 2. Contrast Sensitivity – the ability to vary the visual stimuli based on their frequency. The eye does not distinguish between stimuli, when the frequency is too low or too high.

From: Department of Ophthalmology School of Medicine in Katowice, Medical University of Silesia.

wiera zawiesinę różnych cząsteczek powstałych ze źródeł naturalnych i w efekcie działania człowieka. Powoduje ona efekt rozpraszania światła, głównie o krótkich falach, i efekt luminancji odbitej. Luminancja opisuje intensywność wrażenia świetlnego odbieranego przez ludzkie oko spoglądające na światło wytwarzane bezpośrednio przez źródło lub pochodzące z odbicia od powierzchni. Dlatego też może być zdefiniowana jako intensywność świecenia lub jaskrawość przypisywana danej powierzchni. Jest to miara wrażenia wzrokowego, które odbiera oko ze świecącej powierzchni. Jednostką luminancji jest kandela/ m² (cd/m², nit). Luminancja odbita jest poświatą, która powstaje przez jasne źródła w polu widzenia nałożone na obraz w oku. Zmniejsza kontrast, a przez to ogranicza widoczność. Wyniki badań wykazały, że barwniki plamki powodują zwiększenie luminancji, a zmniejszenie efektu luminancji odbitej. Efekt zmniejszenia poświaty w znaczący sposób koreluje ze stężeniem barwników w plamce (34). Barwniki poprawiają widzenie

przez atmosferę, pochłaniając fototoksyczne światło niebieskie promieniowania nadfioletowego i w ten sposób zwiększają zarówno kontrast przedmiotów, jak i ich tła – działają więc jak filtry. Badania z udziałem lotników używających żółtych okularów nie dały jednak jednoznacznych wyników odnośnie do poprawy ostrości wzroku (27). Potrzebne są zatem dalsze badania, aby można było ustalić zakres potencjalnej poprawy widzenia i jej znaczenie. Dotyczy to głównie osób, które uprawiają zawody wymagające wysiłku wzrokowego zwłaszcza w plenerze, u nich stężenie barwnika w plamce powinno być mierzone.

Podsumowanie

Odpowiednia podaż luteiny i zeaksantyny odgrywa ważną rolę w procesie utrzymania prawidłowej funkcji siatkówki. Zwiększone spożycie warzyw i owoców o dużej zawartości karotenoidów zwiększa stężenie luteiny w surowicy. Barwniki plamki – luteina, zeaksantyna i mezozeaksantyna, czyli tlenowa forma luteiny, pełnią rolę silnych antyoksydantów, a jednocześnie filtrów promieniowania UV. Stężenie luteiny w plamce jest proporcjonalne do jej stężenia w korze płata potylicznego, w której odpowiada za funkcję poznawczą. Barwniki plamki wpływają również na procesy fizyczne związane z patrzeniem, zwiększają czułość kontrastu, kontrast otoczenia i tła oraz luminancję, a zmniejszają luminancję odbitą.

Piśmiennictwo:

1. Stasiak K: *Proces widzenia barwnego*. The Polish Journal of Aviation Medicine and Psychology. 2012; 4(18): 63–76.
2. Bargary G, Jia Y, Barbur JL: *Mechanisms for Discomfort Glare in Central Vision*. IOVS. 2015 Jan; Vol. 56, No. 1: 464–471.
3. Jennings BJ, Martinovic J: *Luminance and color inputs to mid-level and high-level vision*. Journal of Vision. 2014; 14(2), 9: 1–17.
4. Komorowska-Gruntmeyer M, Pastuszka M, Jurowski P, Gos R: *Wybrane zagadnienia dotyczące fizjologii widzenia*. Kontaktologia i Optyka Okulistyczna. 2011; 1(3): 33–40.
5. Matthews GG: *Neurobiologia. Od cząsteczek i komórek do układów*. WL PZWL, Warszawa. 2000; 382–441.
6. Drobek-Słowik M, Karczewicz D, Safranow K.: *Potencjalny udział stresu oksydacyjnego w patogenezie zwyrodnienia plamki związanego z wiekiem (AMD)*. Postępy Hig Med Dośw. (online) 2007; 61: 28–37.
7. Beatty S, Koh H, Phil M, Henson D, Boulton M: *The role of oxidative stress in the pathogenesis of age-related macular degeneration*. Surv Ophthalmol. 2000; 45: 115–134.
8. Wiktorowska-Owczarek A, Nowak JZ: *AMD a stres oksydacyjny. 1. Analiza czynników wpływających na powstawanie wolnych rodników tlenowych w siatkówce. 2. Analiza składników preparatów farmaceutycznych stosowanych w profilaktyce AMD*. Mag Lek Okul. 2008; 3: 200–212.
9. Wiktorowska-Owczarek A, Nowak JZ: *Oxidative damage in age-related macular degeneration (AMD) and antioxidant protection as a therapeutic strategy*. Polish J Environ Stud. 2006; 15: 69–72.
10. Howarth PA, Bradley A: *The longitudinal chromatic aberration of the human eye, and its correction*. Vis Res. 1986; 26 (2): 361–366.

11. Gryszczyńska A, Gryszczyńska B, Opala B: *Karotenoidy. Naturalne źródła, biosynteza, wpływ na organizm ludzki*. Postępy Fitoterapii. 2011; 2:127–143.
12. Bone RA, Landrum JT, Fernandez L, Tarsis SL: *Analysis of the macular pigment by HPLC: retinal distribution and age study*. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1988; 29: 843–849.
13. Bone RA, Landrum JT, Hime GW, Cains A, Zamor J: *Stereochemistry of the human macular carotenoids*. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1993; 34: 2033–2040.
14. Johnson EJ, Neuringer M, Russell RM, Schalch W, Snodderly DM: *Nutritional manipulation of primate retinas. III: Effects of lutein or zeaxanthin supplementation on adipose tissue and retina of xanthophyll-free monkeys*. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2005; 46: 692–702.
15. Liu CH, Lai KY, Wu WC, Chen YJ, Lee WS, Hsub CY: *In Vitro Scleral Lutein Distribution by Cyclodextrin Containing Nanoemulsions*. Chem Pharm Bull. 2015; Vol. 63, No. 2: 59–67.
16. Scamo S, Cartmel B, Lin H: *Significant correlations of dermal total carotenoids and dermal lycopene with their respective plasma levels in healthy adults*. Arch Biochem Biophys. 2010; 504: 34–39.
17. Vishwanathan R, Schalch W, Johnson EJ: *Macular pigment carotenoids in the retina and occipital cortex are related in humans*. Nutr Neurosci. 2015 Mar 9.
18. Hammond BR, Fletcher LM, Elliott JG: *Glare Disability, Photo-stress Recovery, and Chromatic Contrast: Relation to Macular Pigment and Serum Lutein and Zeaxanthin*. IOVS. 2013 Jan, Vol. 54, No. 1: 476–481.
19. Skłodowska A, Szaflik J: *AMD – profilaktyka i leczenie*. Wydanie specjalne Okulistyka 2007 sierpień.
20. Wooten BR, Hammond BR: *Macular pigment: influences on visual acuity and visibility*. Progress in Retinal and Eye Research. 2002; 21: 225–240.
21. Wiktorowska-Owczarek A, Nowak JZ: *Patogeneza i profilaktyka AMD: rola stresu oksydacyjnego i antyoksydantów*. Postępy Hig Med Dosw. (online). 2010; 64: 333–343.
22. Jankowska-Lech I, Grabska-Liberek I, Krzyżewska-Niedziałek A, Pietruszyńska M: *Zwyrodnienie plamki związane z wiekiem (AMD) – choroba starzejących się społeczeństw*. Postępy Nauk Medycznych. 2013; t. XXVI, nr 12: 868–873.
23. Szostak WB, Szostak-Węgierek D: *Żywnienie w profilaktyce zwyrodnienia plamki żółtej*. Przegląd Lekarski. 2008; 65/ 6: 308–311.
24. Ham WT, Ruffolo JJ, Mueller HA, Clarke AM, Moon ME: *Histologic analysis of photochemical lesions produced in rhesus retina by short wave-length light*. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1978; 17: 1029–1035.
25. Snodderly DM, Auran JD, Delori FC: *The macular pigment. II. Spatial distribution in primate retinas*. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1984; 25: 674–685.
26. Khachik F, Bernstein PS, Garland DL: *Identification of lutein and zeaxanthin oxidation products in human and monkey retinas*. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1997; 38: 1802–1811.
27. Hammond BR, Fletcher LM, Roos F, Wittwer J, Schalch W: *A Double-Blind, Placebo-Controlled Study on the Effects of Lutein and Zeaxanthin on Photostress Recovery, Glare Disability, and Chromatic Contrast*. IOVS. 2014 Dec; Vol. 55, No. 12: 8583–8589.
28. Stankiewicz A: *Suplementacja diety w zwyrodnieniu plamki związanym z wiekiem. Fakty, mity, zagrożenia. Część I*. Przegląd Okulistyczny. 2015 maj-czerwiec: 4–5.
29. Stankiewicz A: *Suplementacja diety w zwyrodnieniu plamki związanym z wiekiem. Fakty, mity, zagrożenia. Część II*. Przegląd Okulistyczny. 2015 lipiec-sierpień: 8–9.
30. Stringham JM, Garcia PV, Smith PA, Hiers PL, McLin LN, Kuyk TK, et al.: *Macular Pigment and Visual Performance in Low-Light Conditions*. IOVS. 2015 April, Vol. 56, No. 4: 2459–2468.
31. Luria SM: *Vision with chromatic filters*. Am J Opt Arch Amer Acad Opt. 1972; 10: 818–829.
32. McCartney EJ: *Optics of the atmosphere: scattering by molecules and particles*. 1977 Wiley, New York.
33. Middleton WEK: *Vision through the atmosphere*. 1952 University of Toronto Press, Toronto.
34. Stringham JM, Hammond BR Jr.: *The glare hypothesis of macular pigment function*. Optom Vis Sci. 2007 Sep; 84(9): 859–864.

Praca wpłynęła do Redakcji 17.01.2017 r. (KO-00104-2017)
Zakwalifikowano do druku 17.01.2018 r.

Adres do korespondencji (Reprint requests to):

lek. Anna Bonczar
Oddział Okulistyki Dorosłych, Uniwersyteckie Centrum
Kliniczne im. prof. K. Gibińskiego ŚUM w Katowicach
ul. Ceglana 35
40-514 Katowice
e-mail: annabonczar02@gmail.com