

# Anatomia i fizjologia narządu wzroku - wybrane zagadnienia

na podstawie literatury zebrana:

**prof. B. Kostek**

# Źródła

- [http://www.zdrowie.med.pl/oczy/anat\\_i\\_fizjo/a\\_oczy.html](http://www.zdrowie.med.pl/oczy/anat_i_fizjo/a_oczy.html)
- [http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~ergonom/ergonomia/nr\\_15.htm](http://galaxy.uci.agh.edu.pl/~ergonom/ergonomia/nr_15.htm)
- [http://pl.wikipedia.org/wiki/Kolor\\_oczu#Czynniki\\_decyduj.C4.85ce\\_o\\_kolorze\\_oczu](http://pl.wikipedia.org/wiki/Kolor_oczu#Czynniki_decyduj.C4.85ce_o_kolorze_oczu)
- <http://www.swiatlo.tak.pl/pts/pts-oko-proces-widzenia.php>
  - (<http://195.117.188.199/a4.htm>)
  - <http://www.cs.bgu.ac.il/~icbv071/LectureNotes/ICBV-Lecture-Notes-12-Sensing-2-The-Human-Eye-1SPP.pdf>

# Bibliografia

- W. Bułat: Zjawiska optyczne w przyrodzie, WSiP, W-wa 1987
- P. Duus: Diagnostyka topograficzna w neurologii, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, W-wa 1989.
- Sz. Jeleński: Lilavati, PZWS
- W. Skarbek: Metody reprezentacji obrazów cyfrowych, Akademicka Oficyna Wydawnicza, W-wa 1993.
- W. Z. Traczyk, A. Trzebski: Fizjologia człowieka z elementami fizjologii klinicznej, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, W-wa 1980.

# Zagadnienia:

- budowa oka
- własności widzenia I
- rozdzielczość wzroku
- percepcja barw i odcieni
- bezwładność wzroku
- własności widzenia II

# Budowa oka

- **Układ wzrokowy**

Widzenie jest złożonym procesem fizyczno-psychicznym, który składa się z trzech etapów: przyjęcia (wychwycenia) bodźca, jego przewodzenia oraz zebrania i poznania go. Warunki te spełnia zbudowany i funkcjonujący prawidłowo układ wzrokowy.

- Układ ten składa się z umiejscowionej w oczodole gałki ocznej, która za pomocą siatkówki odbiera wrażenia wzrokowe, przekazując je poprzez drogi wzrokowe do korowych ośrodków wzrokowych mózgu.

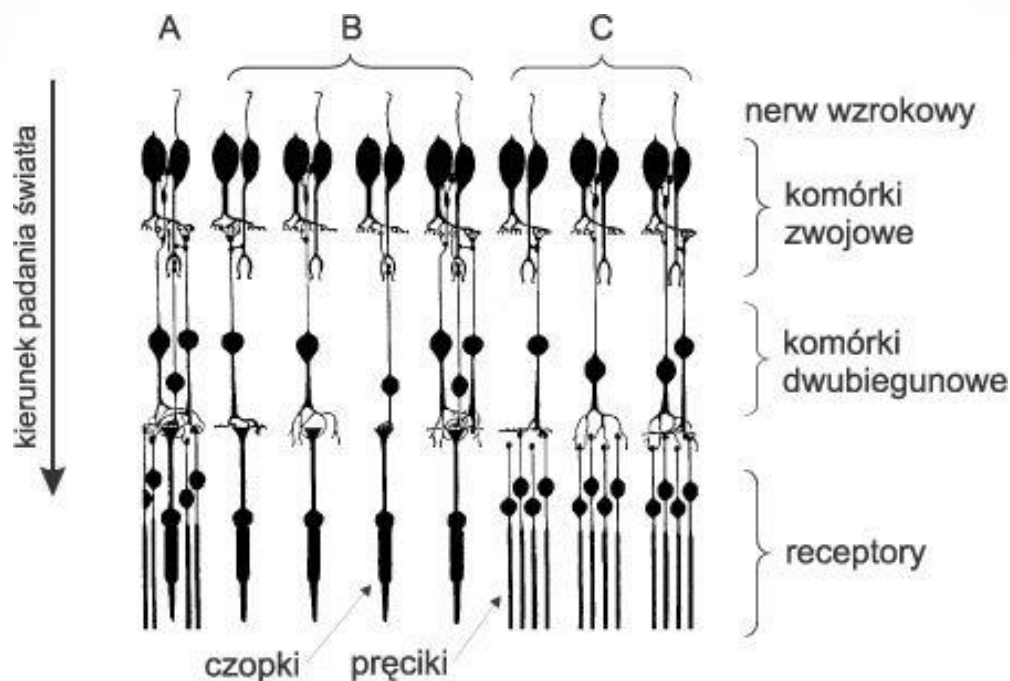
# Budowa oka

- W korowych ośrodkach wzrokowych odbierane są i przetwarzane impulsy, a następnie przesyłane do dalszych ośrodków mózgowych, tak aby mózg zareagował odpowiednią czynnością na bodziec wzrokowy. Oczami odbieramy ok. 80% wszystkich informacji o otoczeniu i aż 10% kory mózgowej zaangażowanej jest w interpretację tych informacji.

# Budowa oka

- Kora wzrokowa zajmuje ok. 60% całej kory mózgowej, uwzględniając wszystkie obszary zajmujące się reakcją na pobudzenie wizualne.

# Budowa oka

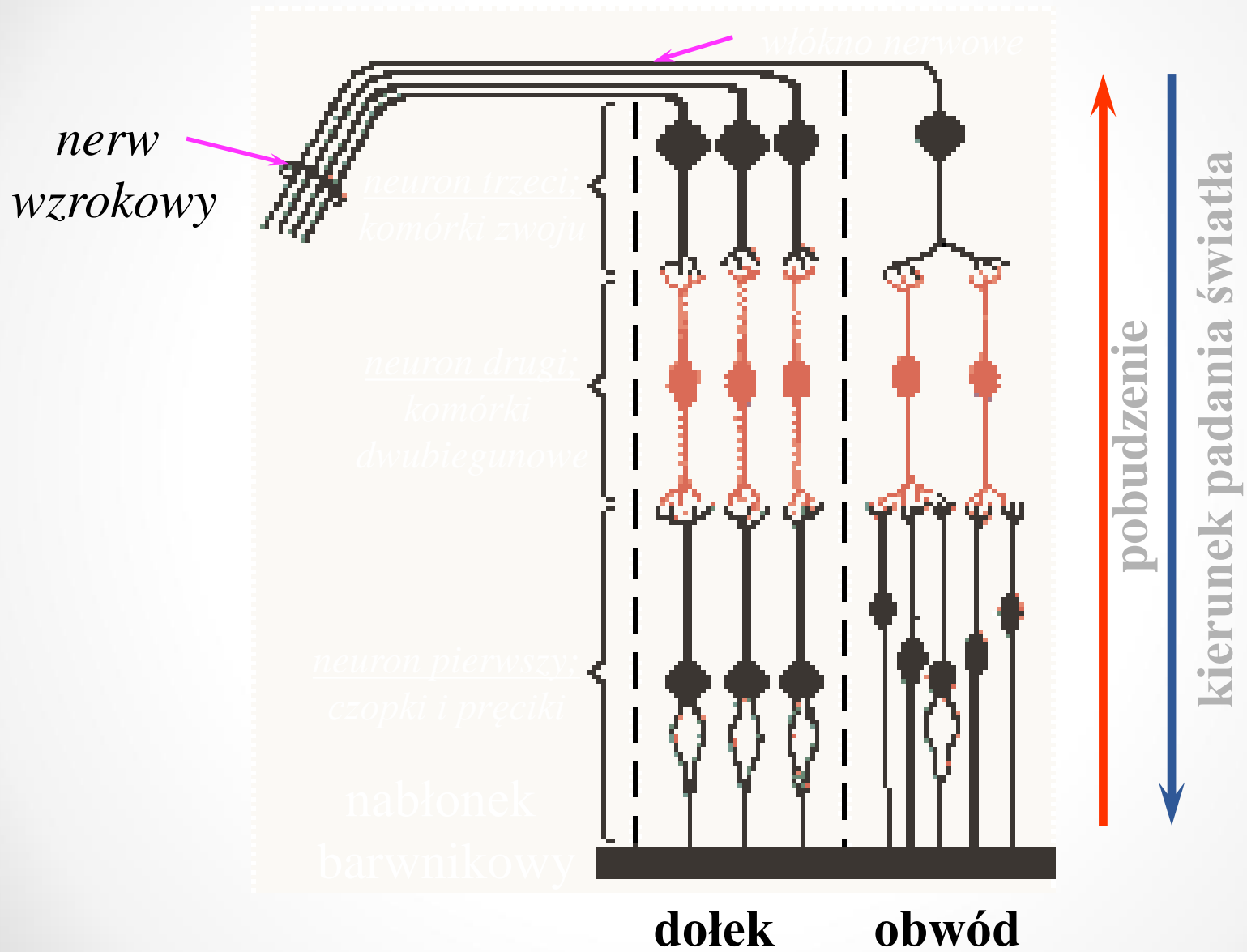


Uproszczony schemat budowy siatkówki oka

- A - czopki i pręciki podłączone do włókna nerwowego;
- B - pojedyncze czopki podłączone do włókna nerwowego;
- C - grupa pręcików podłączona do włókna nerwowego



# Budowa oka



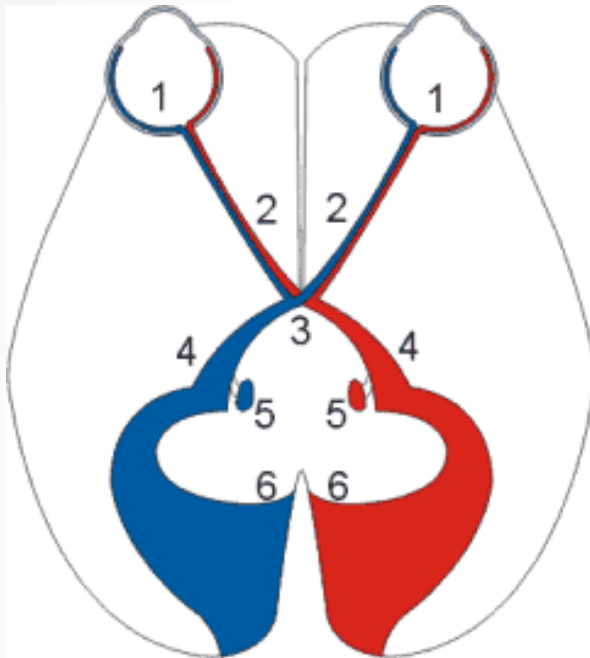
# Połączenie oka z mózgiem

Sposób, w jaki siatkówka obu oczu, połączona jest z korą wzrokową półkul mózgowych w obu częściach mózgu, nie jest tak prosty, jak można by oczekiwać. Nerwy wzrokowe obu oczu łączą się bezpośrednio przed wejściem do wgłębienia czaszki, tworząc tak zwane skrzyżowanie wzrokowe. Później dzielą się one ponownie na dwa rozgałęzienia, tak zwane drogi wzrokowe, które łącząc się z ciałem kolankowatym bocznym prowadzą do obu części kory wzrokowej półkul mózgowych.

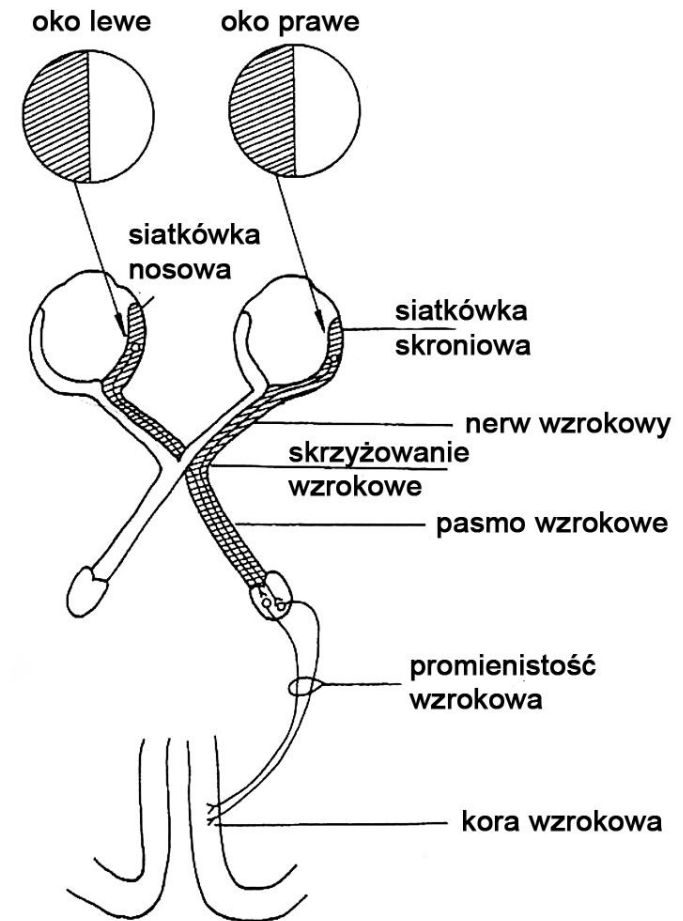
# Połączenie oka z mózgiem

- Skrzyżowanie wzrokowe jest miejscem, gdzie nerw wzrokowy z każdego oka rozdziela się na dwie drogi wzrokowe w taki sposób, że każda z nich zawiera włókna wzrokowe pochodzące z obu oczu. W układzie tym lewa połowa kory wzrokowej przetwarza informacje wizualne pochodzące z lewej strony siatkówki obu oczu (prawa strona pola widzenia), natomiast prawa połowa kory wzrokowej zajmuje się prawą stroną każdej z siatkówek (lewa strona pola widzenia).

# Połączenie oka z mózgiem



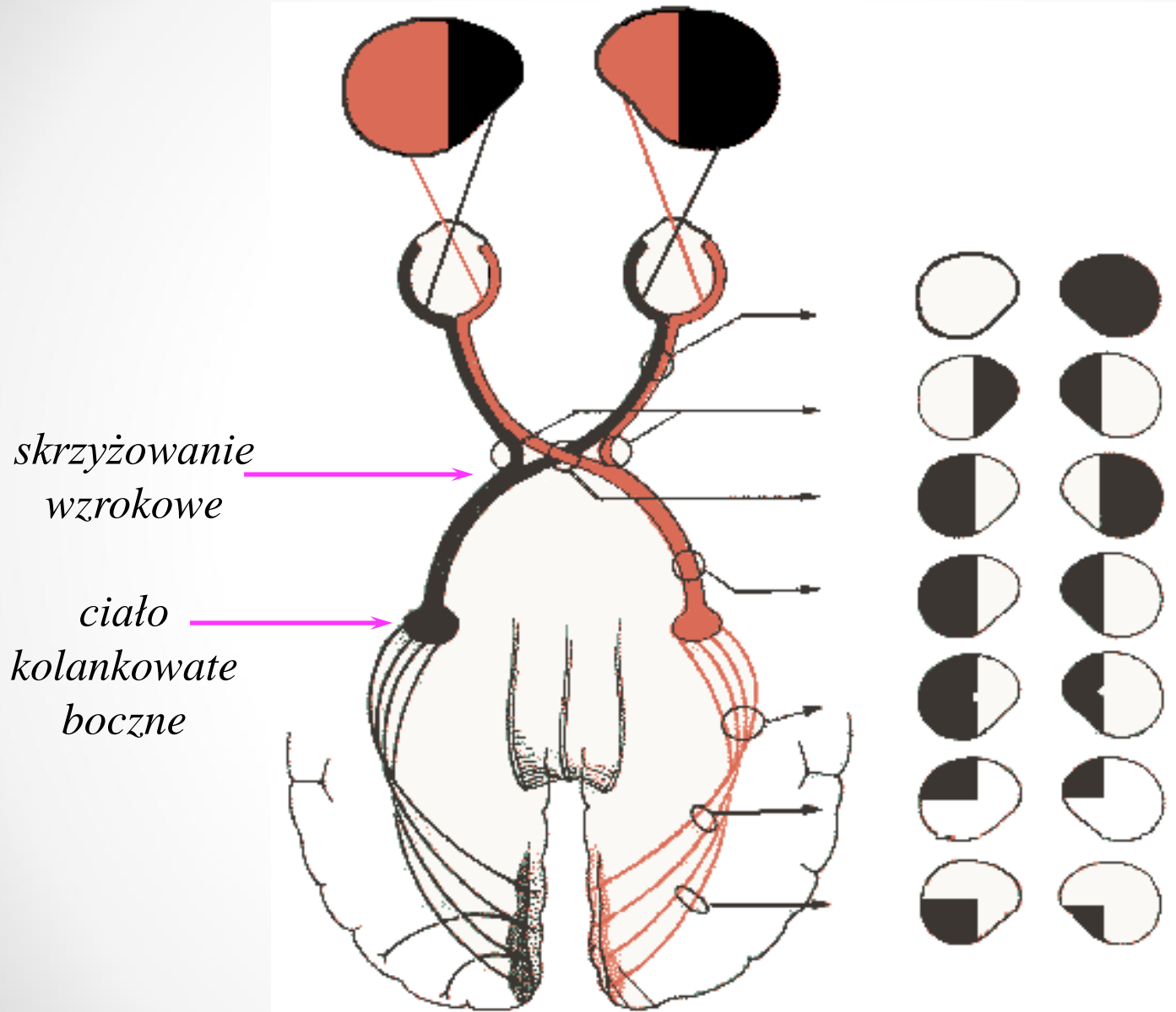
- Schemat ideowy drogi wzrokowej, pokazujący jak siatkówki obu oczu są połączone z oboma połówkami kory wzrokowej (1 - siatkówka, 2 - nerw wzrokowy, 3 - skrzyżowanie wzrokowe, 4 – droga (pasma) wzrokowa, 5 - ciało kolankowate boczne, 6 - kora wzrokowa)



# Połączenie oka z mózgiem

- Każde włókno nerwowe tworzy połączenia pomiędzy jego końcem na siatkówce i szczegółowo zdefiniowanym miejscem w płatach potylicznych kory mózgowej. Z tego powodu możliwe jest przyporządkowanie określonej powierzchni siatkówki do punktów kory wzrokowej. Można zauważyć, że obszar żółtej plamki zajmuje proporcjonalnie o wiele większy region kory wzrokowej niż pozostałe obszary siatkówki.

# Budowa oka

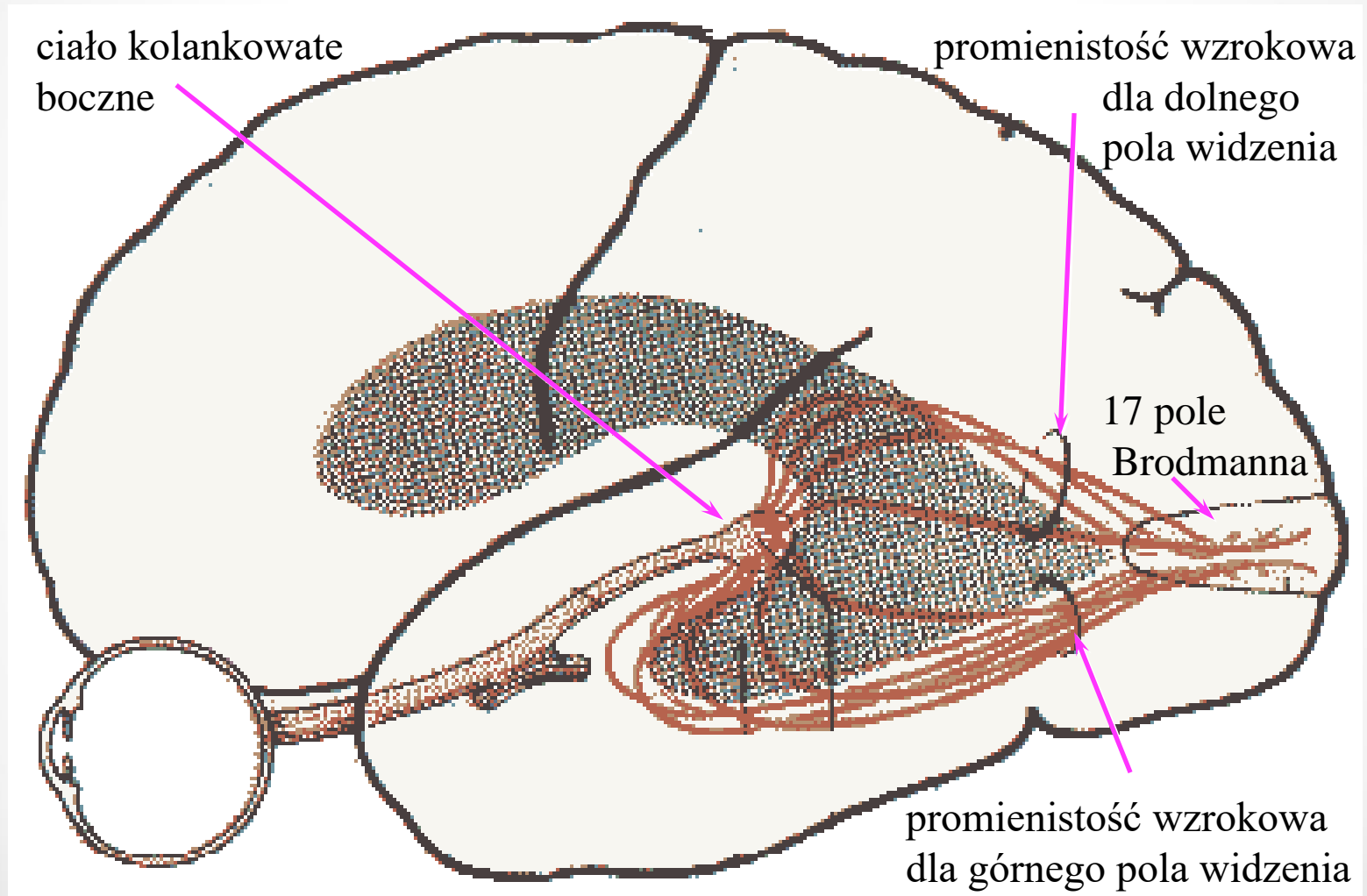


droga wzrokowa

# Połączenie oka z mózgiem

- Informacja z ciała kolankowatego bocznego zarówno z warstw wielkokomórkowych, jak i drobnokomórkowych przesyłana jest za pośrednictwem włókien nerwowych do kory wzrokowej. Pasko tych włókien tworzy promienistość wzrokową.

# Promienistość wzrokowa i kora wzrokowa



*promienistość wzrokowa*



# Budowa oka

- **Oczodoł**

Gałka oczna, wraz z narządami dodatkowymi, znajduje się w kostnej jamie, zwanej oczodołem. Głębokość oczodołu wynosi 45 mm, objętość 30 cm<sup>3</sup>, z czego gałka oczna zajmuje zaledwie 1/4 przestrzeni. Resztę zajmują: gruczoł łzowy, umiejscowiony w górno-zewnętrznej części oczodołu i wydzielający łzy do sklepienia górnego spojówki, sześć mięśni zewnętrznych oka, nerwy oraz naczynia krwionośne. Pozostałą część wypełnia tłuszcz oczodołu, który odgrywa znaczną rolę w amortyzacji oka.

# Budowa oka

- Szczyt oczodołu łączy się z jamą czaszki poprzez dwa otwory: kanał wzrokowy, z przebiegającym w nim nerwem wzrokowym wraz z tętnicą oczną, oraz szczelinę oczodołową górną. Przez tę szczelinę do oczodołu wchodzi wszystkie nerwy czaszkowe unerwiające m. in. gałkę oczną.
- **Powieki i aparat łzowy**  
Powieki zamykają przedni otwór oczodołu, chroniąc gałkę oczną przed wysychaniem i urazami.

# Budowa oka

- Ruch powiek rozprowadza płyn łzowy po powierzchni rogówki i spojówki, zapewniając oku stałe nawilżanie. Na brzegach powieki górnej i dolnej znajduje się około 100-150 rzęs, do ich mieszków uchodzą gruczoły łojowe i gruczoły rzęskowe (potowe). W pobliżu kąta przyśrodkowego (od strony nosa) obu powiek, na ich tylnej krawędzi, znajdują się punkty łzowe (górny i dolny), stanowiące początek kanalików łzowych, przez które odprowadzane są łzy do woreczka łzowego i następnie do nosa.

# Budowa oka

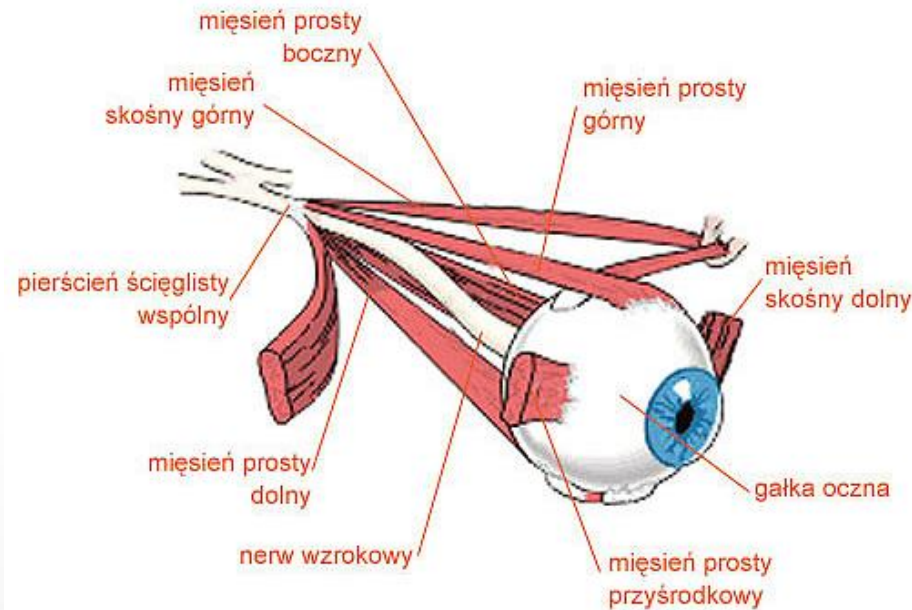
- **Spojówka**

Spojówka (worek spojówkowy) jest cienką, delikatną błoną śluzową, która wyściela tylną powierzchnię obu powiek. Przechodzi ona następnie na gałkę oczną aż do rogówki, tworząc przy przejściu fałdy, zwane załamkami górnym i dolnym. Spojówka jest ściśle zrosnięta z podłożem tylko w jej części tarczkowej, w załamkach posiada fałdy, a na powierzchni gałkowej jest lekko przesuwalna. Daje to możliwość swobodnych ruchów gałki ocznej (słabe unerwienie czuciowe spojówki).

# Budowa oka

- **Mięśnie poruszające gałką oczną**

Gałkę oczną porusza sześć mięśni zewnętrznych oka. Cztery mięśnie proste: górny, dolny, wewnętrzny i zewnętrzny, których tylne przyczepy znajdują się daleko za gałką oczną. Natomiast przednie przyczepy są przymocowane do gałki ocznej w odległości przeciętnie 7 mm od rąbka, w położeniu zgodnym z ustawieniem wskazówki zegara kolejno na godzinie 12, 3, 6, 9. Odmienny i bardziej złożony jest przebieg mięśni skośnych, które warunkują odpowiednie ruchy OCZU.



# Budowa oka

- Powiekami poruszają zasadniczo dwa mięśnie: biegnący ze szczytu oczodołu do górnego brzegu tarczki **dźwigacz powieki górnej** z mięśniami tarczowymi górnym i dolnym, które unoszą powiekę, oraz rozległy, leżący pod skórą powiek **mięsień okrężny oka**, który zamyka powiekę.

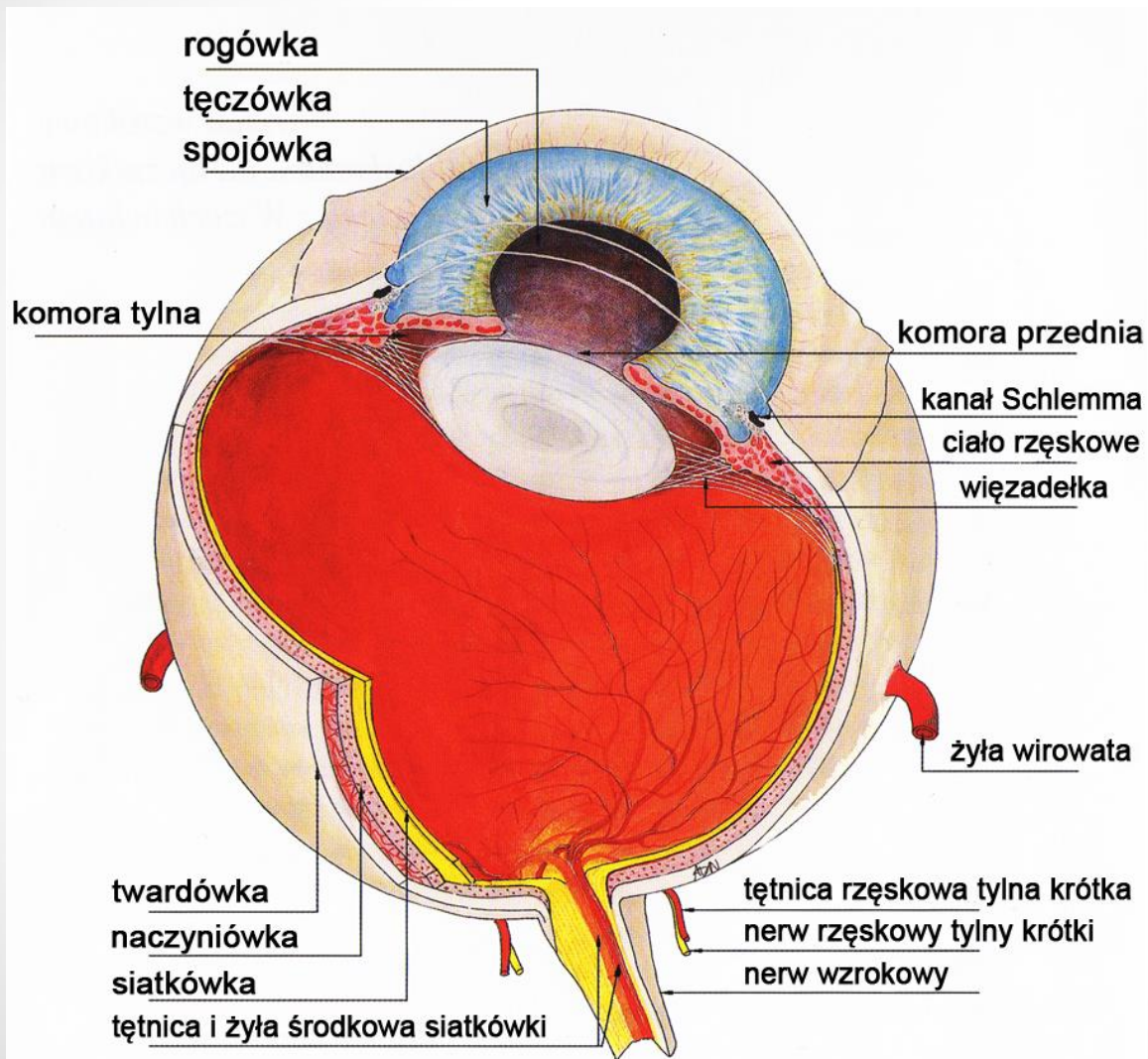
# Budowa oka

- **Budowa gałki ocznej**

Gałka oczna ma postać prawie kulistą, o przeciętnym wymiarze osi przednio-tylnej 25 mm, osi poziomej 23 mm, objętości 6,5 cm<sup>3</sup> i masie 7 g. Zbudowana jest z trzech błon:

- **zewnątrznej błony włóknistej** (twardówka i rogówka),
- **środkowej naczyniowej** (tęczówka, ciało rzęskowe, naczyniówka)
- **wewnętrznej czuciowej** (siatkówka).

# Budowa oka





# Budowa oka

- Zewnętrzną włóknistą błonę stanowi biała, nieprzejrzysta, zbita tkanka oka, zwana twardówką (potocznie nazywana „białkiem oka”), która w swej części przedniej staje się przezroczysta i nosi nazwę rogówki. Pod twardówką od strony wewnętrznej oka znajduje się błona naczyniowa oka (dawniej zwana jagodówką), którą można podzielić na trzy części. Część przednią, widoczną przez rogówkę i dochodzącą do jej rąbka, nazywa się tęczówką. Ma ona różne zabarwienie i świadczy o kolorze OCZU.

# Budowa oka

- Druga część, już niewidoczna gołym okiem, bo schowana pod twardówką, to ciało rzęskowe oraz trzeci, tylny odcinek to naczyniówka. Siatkówka, najbardziej wewnętrzna błona oka, wyściela jedynie naczyniówkę.

# Budowa oka

- **Rogówka**

Rogówka ma kształt wycinka kuli i przypomina szkiełko zegarkowe wprawione w twardówkę; średnica pozioma rogówki wynosi 12 mm, pionowa 11 mm. Rogówka jest najcieńsza w środku i jej grubość wynosi 0,6 mm, natomiast obwodowo przy rąbku około 1 mm. Część centralna rogówki, o średnicy 4 mm, jest bardzo regularna i kulista, i nazywa się częścią optyczną. Rogówka zbudowana jest z pięciu warstw.

# Budowa oka

- Dzięki swoistej budowie rogówka w warunkach fizjologicznych jest przezroczysta, nie posiada naczyń krwionośnych, a odżywanie jej odbywa się z naczyń rąbka rogówki, z płynu komory przedniej oraz częściowo z łez. Rogówka jest bardzo silnie unerwiona czuciowo, dlatego też reaguje natychmiast bólem i łzawieniem na dotyk czy ciała obce, które znajdują się na jej powierzchni.

# Budowa oka

- Poza funkcją ochronną, **rogówka bierze udział w załamywaniu promieni świetlnych**
- Stanowi ona główną część układu optycznego oka, a siła łamiąca rogówki wynosi **42 dioptrie**
- Wadliwa łamliwość rogówki jest główną przyczyną tzw. wady refrakcji, którą trzeba wyrównywać szklami okularowymi

# Budowa oka

- **Twardówka**

Twardówka tworzy sztywną, nieprzezroczystą, białą zewnętrzną ścianę gałki ocznej. W części tylnej, w miejscu gdzie twardówka przechodzi w pochewkę nerwu wzrokowego, grubość jej jest największa i wynosi 1,3 mm. W części przedniej jest najcieńsza i jej grubość równa się 0,3 mm. Jest ona słabo unaczyniona i mało czuła.

# Budowa oka

- **Tęczówka**

Tęczówka na swojej powierzchni jest nierówna, posiada liczne promieniste zagłębienia oraz okrężne bruzdy. W zależności od ilości barwnika tęczówka może mieć kolor szary, jasnoniebieski, zielonkawy lub brązowy. W środku tęczówki znajduje się czarny, okrągły otwór - **źrenica**. Szerokość źrenicy jest niezależna od naszej woli i zmienia się odruchowo pod wpływem rozmaitych bodźców, przede wszystkim w wyniku zmian natężenia światła.

# Budowa oka

- Zwężona źrenica pod wpływem światła chroni oko przed nadmierną ilością światła. Zwężenie źrenicy w przypadkach wady refrakcji zmniejsza kręgi rozproszenia, co poprawia w pewnym stopniu wyrazistość widzianego obrazu
  - analogia do fotografii: im większa wartość przysłony (mniejszy otwór), tym większa głębia ostrości



# Budowa oka

- **Ciało rzęskowe**

Ciało rzęskowe to silnie unaczyniony twór zbudowany głównie z mięśni gładkich, otaczający pierścieniowato obszar leżący za tęczówką, o szerokości 8 mm. Do jego wyrostków rzęskowych przyczepiają się **więzadełka Zinna**, na których zawieszona jest **soczewka**. W zależności od skurczu lub rozkurczu mięśnia rzęskowego, **soczewka** zmienia swój kształt (akomoduje), co pozwala dostosować układ optyczny oka do różnych odległości. W nabłonku wyrostków rzęskowych produkowana jest bardzo ważna dla oka ciecz wodnista, regulująca przez swój stały przepływ odpowiednie ciśnienie oczne.

# Budowa oka

- **Naczyniówka**

Naczyniówka leżąca pomiędzy twardówką a siatkówką składa się z gęstej sieci naczyń krwionośnych o różnej średnicy, rozdzielonych niewielką ilością tkanki łącznej oraz komórek barwnikowych i włókien elastycznych. Głównym zadaniem naczyniówki jest odżywanie zewnętrznych warstw siatkówki.

# Budowa oka

- **Ciało szkliste**

- ciało szkliste wypełnia centralną część oka pomiędzy soczewką a siatkówką i stanowi 2/3 objętości gałki ocznej
- jest to przezroczysta, galaretowata substancja w 99% składająca się z wody, pozbawiona nerwów oraz naczyń krwionośnych.

Funkcje ciała szklistego:

- utrzymanie kształtu oka;
- załamywanie promieni świetlnych;
- amortyzacja wstrząsów i ruchów;
- regulacja ciśnienia wewnątrzgałkowego.

# Budowa oka

- **Ciało szkliste**

Z wiekiem następuje zwyrodnienie ciała szklanego, a związane z tym zmiany fizykochemiczne powodują u wielu osób spozstrzeganie jaśniejszych lub ciemniejszych tworów, tzw. muszek latających. Także z wiekiem ciało szkliste obkurcza się i może odłączyć się od tylnego bieguna oka. Zwyrodnienie włókienkowe i tworzenie się pustych jam występuje u 34% ludzi pomiędzy 10 a 40 rokiem życia, odłączenie tylne ciała szklanego pojawia się u 6% ludzi po 50 roku życia, natomiast między 60 a 70 rokiem życia aż u 65% pacjentów.

# Budowa oka

- **Soczewka**

W części przedniej oka, pomiędzy tęczówką a ciałem szklistym, znajduje się soczewka. Jest to przezroczysty, dwuwypukły twór, silnie załamujący światło. Najbardziej zewnętrzną częścią soczewki jest jej włóknista torebka, wewnątrz której umieszczona jest jej miękka część korowa oraz twardsze, powstające po 20 roku życia, jądro. Z wiekiem jądro twardnieje, staje się większe i zabarwia się stopniowo na kolor żółto-brunatny.

# Budowa oka

- **Soczewka**

W związku z tym zmienia się współczynnik załamania światła (może powstać tzw. krótkowzroczność soczewkowa) oraz pojawiają się trudności w rozpoznawaniu niektórych barw (starsi ludzie słabo rozpoznają kolor niebieski, widząc jakby przez żółty filtr)

- Dzięki odpowiedniemu zawieszeniu, **w zależności od stanu napięcia obwódki rzęskowej - regulowanego przez mięśnie ciała rzęskowego - zmienia się kształt soczewki na bardziej płaski lub wypukły**. Zjawisko to nazywa się akomodacją lub nastawnością.

# Budowa oka

- **Soczewka**

Jest to więc zdolność przystosowywania się układu optycznego oka do ostrego widzenia z różnych odległości. Z wiekiem czynność ta ze względu na stwardnienie soczewki znacznie maleje. Przykładowo, w wieku 5 lat wielkość akomodacji wynosi aż 20 dioptrii, w wieku 20 lat spada do 10 dioptrii, a w wieku 70 lat równa jest zeru. Dlatego też starsi ludzie muszą uzupełniać ten brak akomodacji noszeniem szkieł plusowych do patrzenia z bliska.

# Budowa oka

- **Siatkówka**

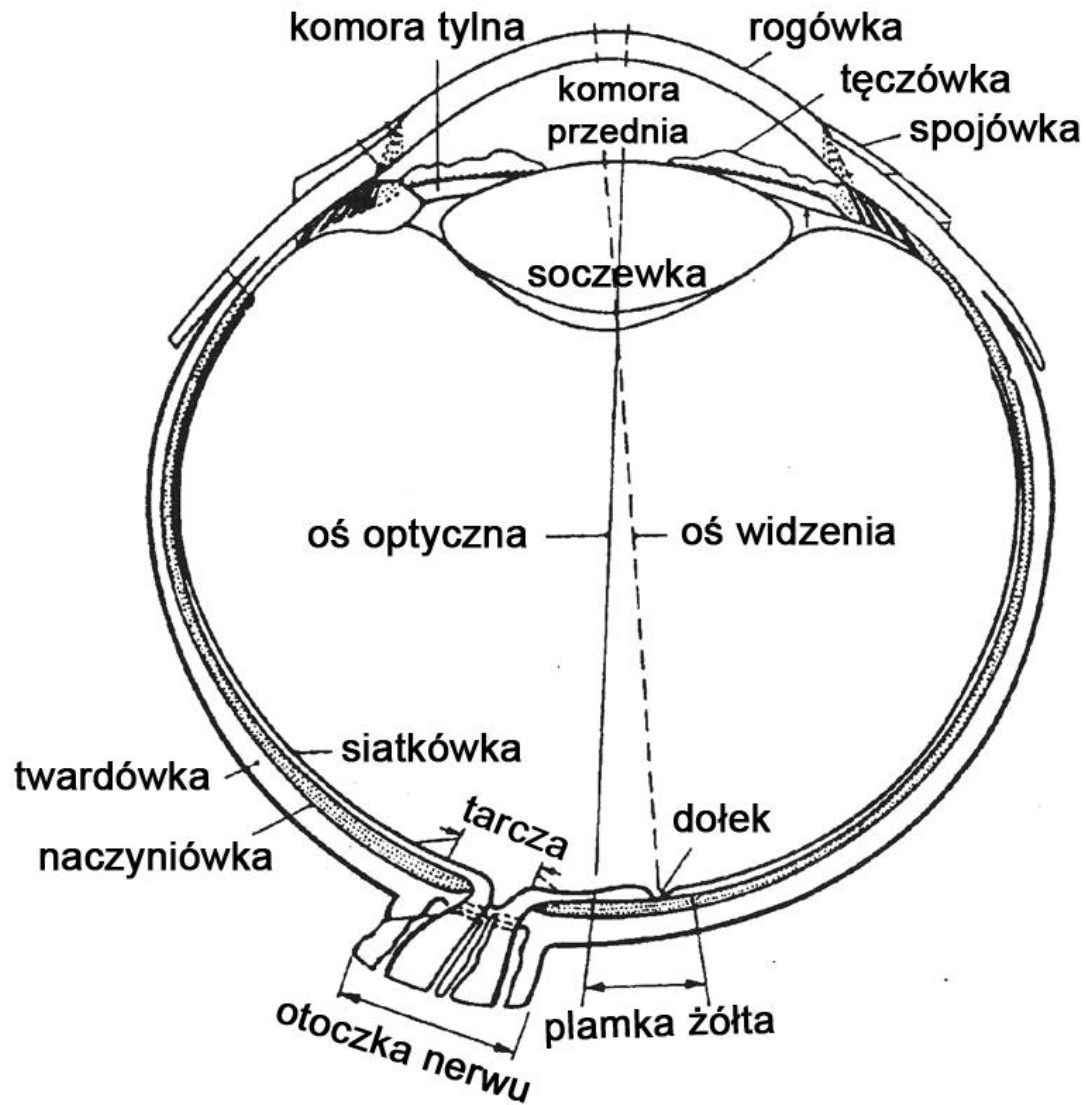
Siatkówka to najbardziej wewnętrzna błona gałki ocznej, przylegająca mocniej do naczyniówki tylko w okolicy nerwu wzrokowego oraz z przodu przy ciele rzęskowym. W pozostałych miejscach przyłożona jest lekko do podłoża, przyciskana od wnętrza oka przez ciało szkliste; od zewnątrz łączy się z naczyniówką.



# Budowa oka

- Budowa histologiczna **siatkówki** jest bardzo złożona, jej grubość wynosi 0,15 - 0,18 mm i składa się z dziesięciu warstw. W obrębie tzw. bieguna tylnego oka znajduje się **dołek środkowy**, leżący w obszarze **plamki żółtej**, czyli małej, beznaczyniowej przestrzeni siatkówki. Dołek środkowy jest małym zagłębieniem w plamce przystosowanym do najostrzejszego widzenia.

# Budowa oka



*schemat poprzeczny gałki ocznej*

# Budowa oka

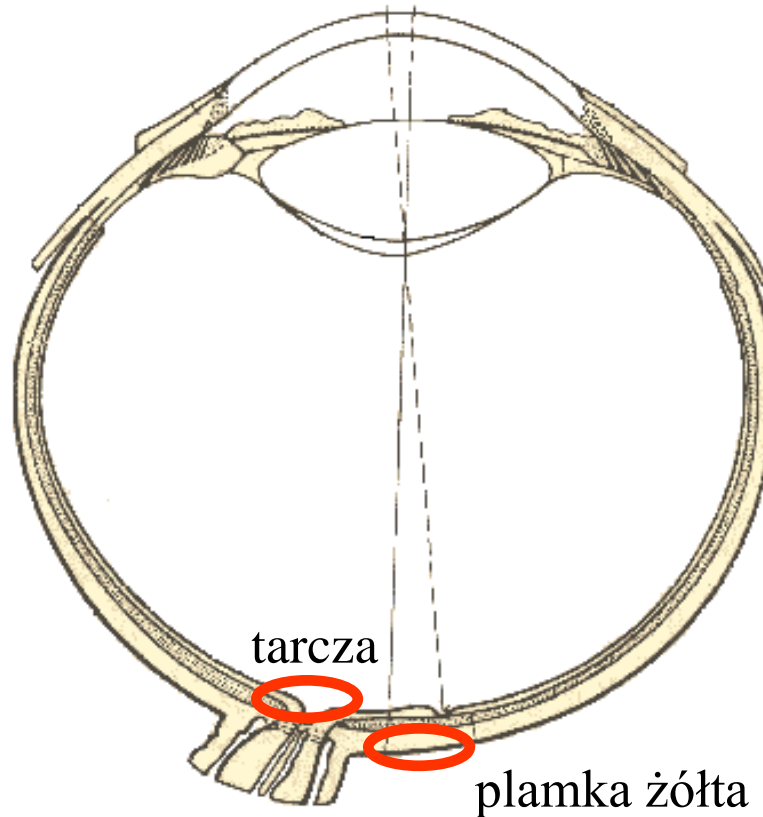
- Drugim ważnym elementem dna oka jest tarcza nerwu wzrokowego, leżąca 2 mm od plamki w kierunku nosowym. Jest to skupisko przede wszystkim komórek nerwowych biegnących z siatkówki, które, zbierając się na tarczy, tworzą nerw wzrokowy. Nerw wychodzi z oczodołu przez kanał nerwu wzrokowego i, krzyżując część swych włókien, dociera do mózgu. Tarczę nerwu wzrokowego widzi się jako różowo-żółtawy krążek, o średnicy 1,5 mm, z centrum którego wychodzą naczynia tętnicze siatkówki, a wchodzą naczynia żyłne.

# Budowa oka

- **Plamka ślepa (Plamka Mariotte'a)**  
Jest to pusta przestrzeń w polu widzenia, spowodowana tym, że na niewielkim obszarze siatkówki nie występują elementy percepcyjne (czopki i pręciki). Odpowiada to tarczy nerwu wzrokowego (skupieniu włókien nerwowych w obrębie siatkówki). Gdy promienie świetlne zogniskują się na plamce ślepej, występuje niewidzenie małego wycinka z pola widzenia. Jest to zjawisko normalne.

# Budowa oka

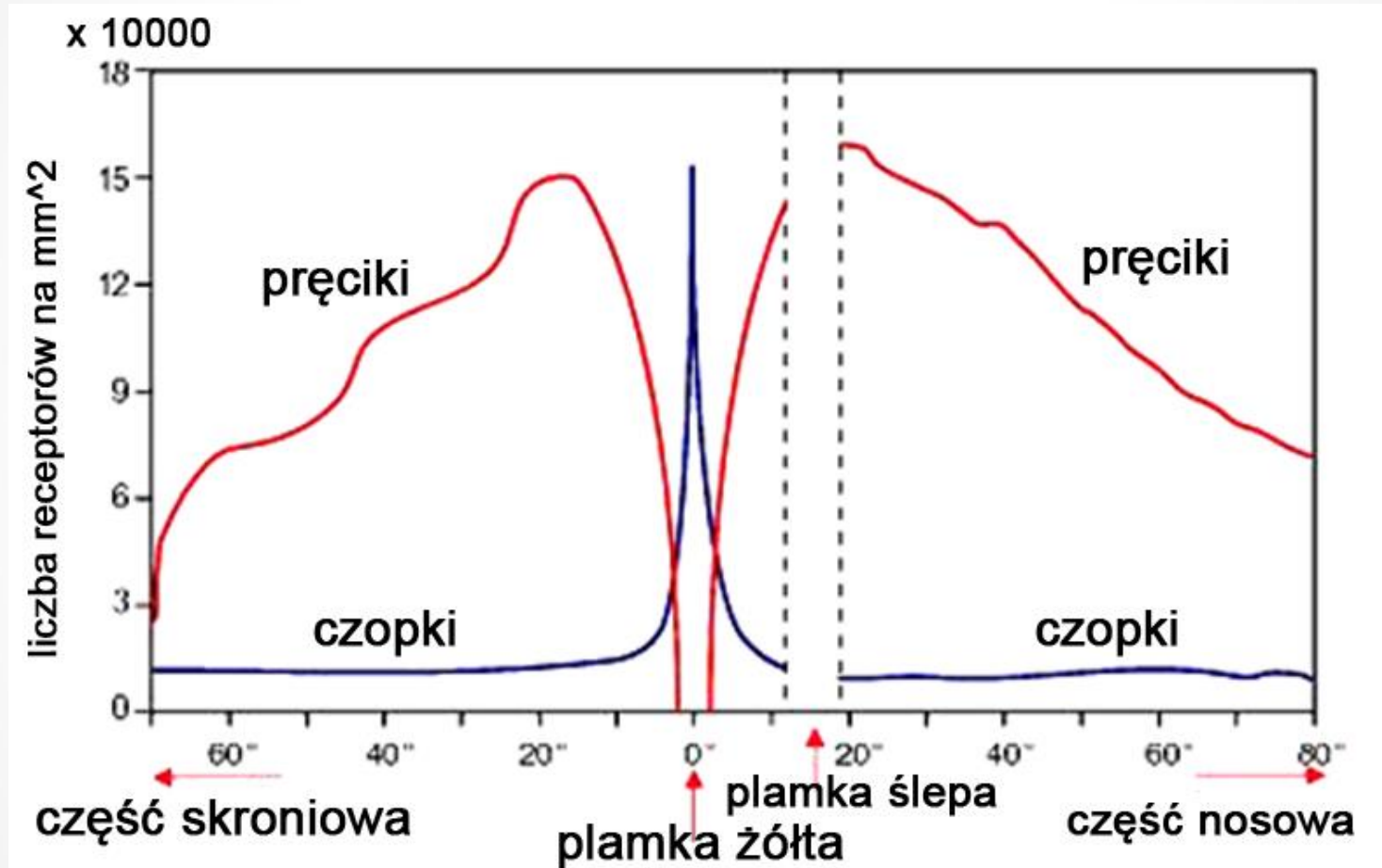
- plamka ślepa Mariotte'a - tarcza nerwu wzrokowego, znajduje się około 4 mm od plamki żółtej



# Budowa oka

- W siatkówce odbywa się szereg skomplikowanych procesów fizycznych i biochemicznych, przetwarzających bodziec świetlny na bodziec nerwowy, który przesyłany jest dalej do korowych ośrodków wzroku. Najważniejsze w tym procesie są składniki światłoczułe zajmujące zewnętrzną warstwę siatkówki – ok. **7 mln czopków** i **130 mln pręcików**. Pręciki znajdują się głównie na obwodzie siatkówki, a w miarę zbliżania się do plamki wzrasta liczba czopków tak, że w obrębie dołka środkowego znajdują się tylko same czopki.
- Fotoreceptory pod wpływem światła ulegają HIPERPOLARYZACJI.

# Budowa oka



Rozkład pręcików i czopków na siatkówce oka

# Budowa oka

- **Czopki** (jodopsyna) występują rzadko na powierzchni całej siatkówki, ale są gęsto upakowane w żółtej plamce - inaczej niż pręciki (rodopsyna):
  - każdy czopek w dołku środkowym jest połączony indywidualnie z mózgiem; rezultatem tego jest **wysoka zdolność rozdzielcza**; z drugiej strony **wrażliwość na światło jest o wiele niższa dla czopków niż dla pręcików**; z tego powodu, przy poziomach luminancji  $3,5 \text{ cd/m}^2$  i mniejszych, czopki stopniowo przestają działać



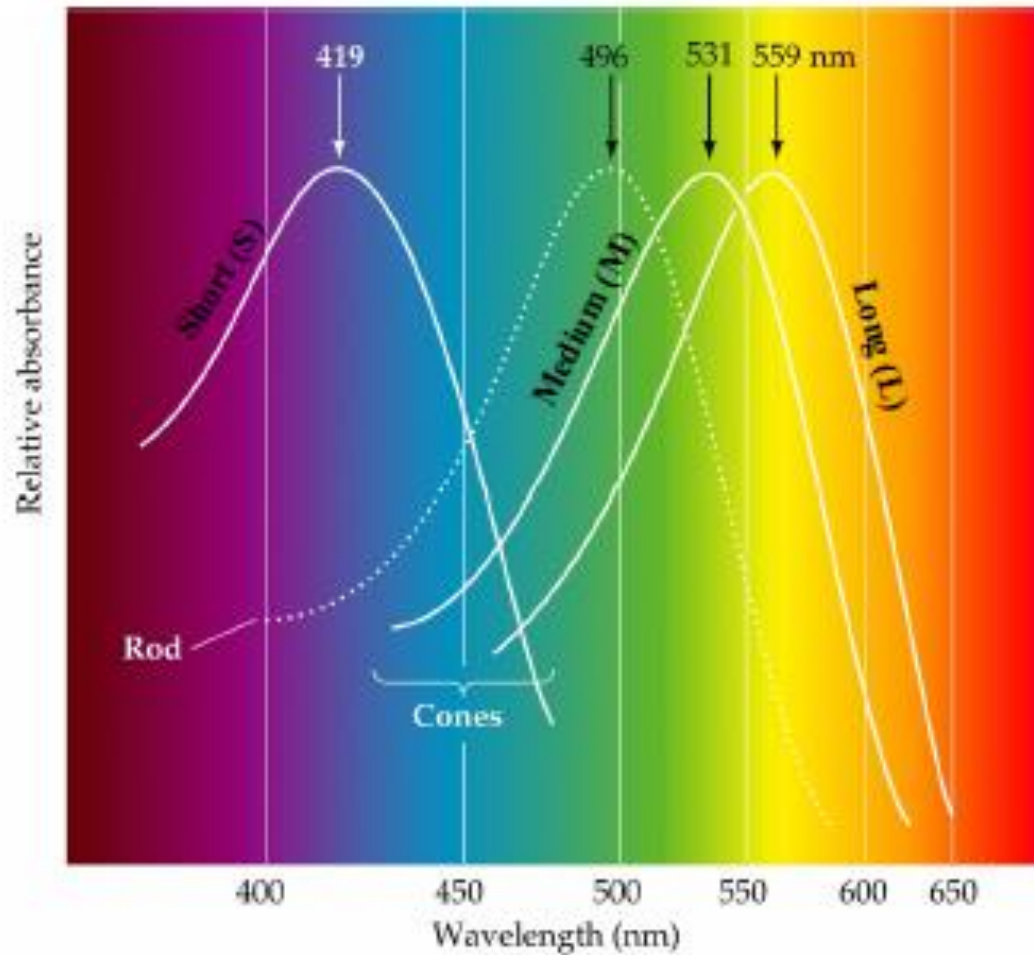
# Budowa oka

- Punkt maksymalnej czułości czopków występuje dla fali o długości 555 nm (kolor jasno-żółty). Przy bardzo niskim poziomie oświetlenia, gdy czopki przestają już funkcjonować, działanie przejmują pręciki. Kolory niebieskie stają się wtedy jaśniejsze w porównaniu z barwami czerwonymi.
- Zjawisko to zostało odkryte w 1825 roku przez czeskiego fizjologa o nazwisku Johann Evangelista Purkinje i jest od tego czasu zwane **zjawiskiem Purkinjego** (w literaturze można również spotkać określenia "przesunięcie Purkinjego" oraz "objaw Purkinjego").

# Budowa oka

- Wyróżnia się trzy typy czopków, z których każdy ma inną charakterystykę widmową, czyli reaguje na światło z innego zakresu długości fali.
  - **czopki typu L** (Long, fale najdłuższe, do ok. 564 nm, kolor czerwony (czerwono-żółte):
  - **czopki typu M** (Medium, fale średniej długości ok. 534 nm, kolor zielony, zielonoczułe)
  - **czopki typu S** (Short, fale najkrótsze ok. 420 nm, kolor niebieski, niebieskoczułe, 3-5%)
- Czopki (ang. cons) występują w nieregularnych skupiskach, a najmniej jest czopków niebieskich. Wrażliwość na daną długość fali zależy od rodzaju barwnika światłoczułego.

## Rods and cones



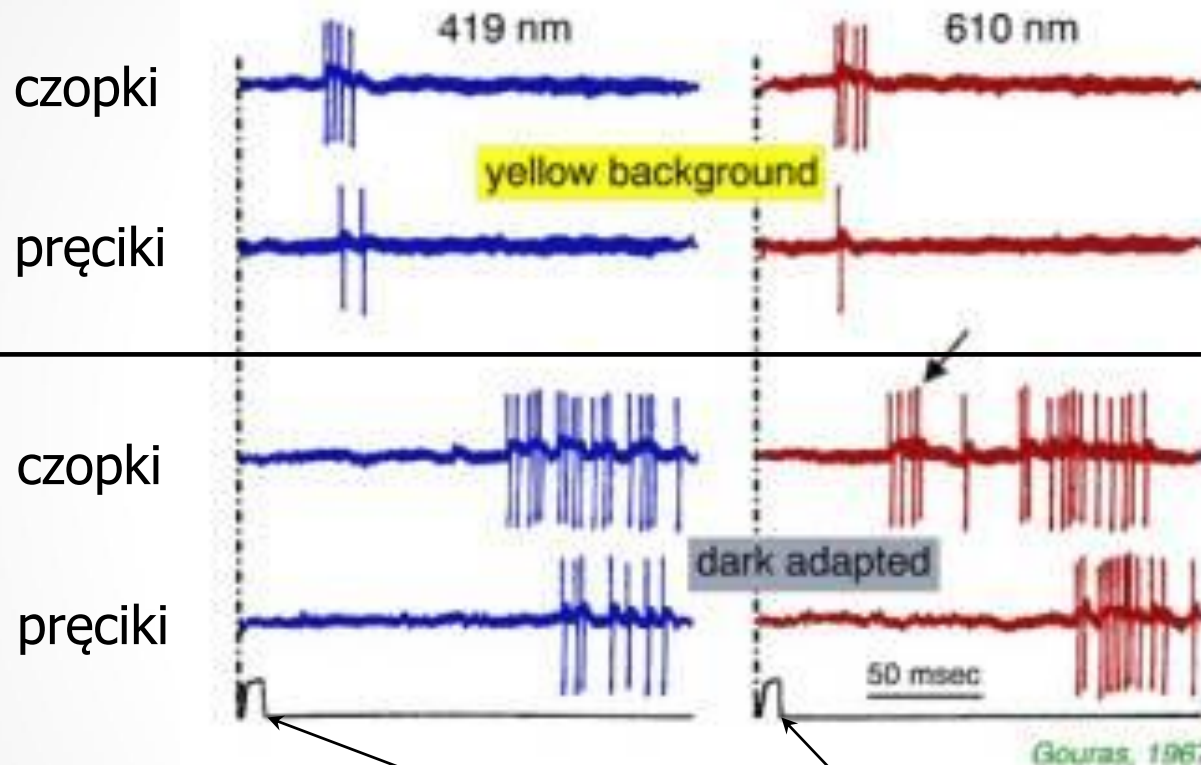
widmo światła  
białego

<http://www.cs.bgu.ac.il/~icbv071/LectureNotes/ICBV-Lecture-Notes-12-Sensing-2-The-Human-Eye-1SPP.pdf>

# Budowa oka

- Czułość fotoreceptorów jest zróżnicowana, pręciki reagują na pojedynczy kwant fali świetlnej, zaś czopki są dużo mniej wrażliwe i do pobudzenia potrzebne jest 100 kwantów.
- **Czas zadziałania pręcików jest dłuższy o ok.1/10 sekundy w porównaniu do reakcji czopków.**
- Sygnały od pręcików rozchodzą się wolniej niż sygnały od czopków, uwidacznia się to na przykładzie czasu reakcji w przypadku jazdy samochodem w nocy, przy słabym oświetleniu, jest on znacząco dłuższy (por. rys. A.29 i A.30)
- (źródło: <http://195.117.188.199/a4.htm>)

# Budowa oka

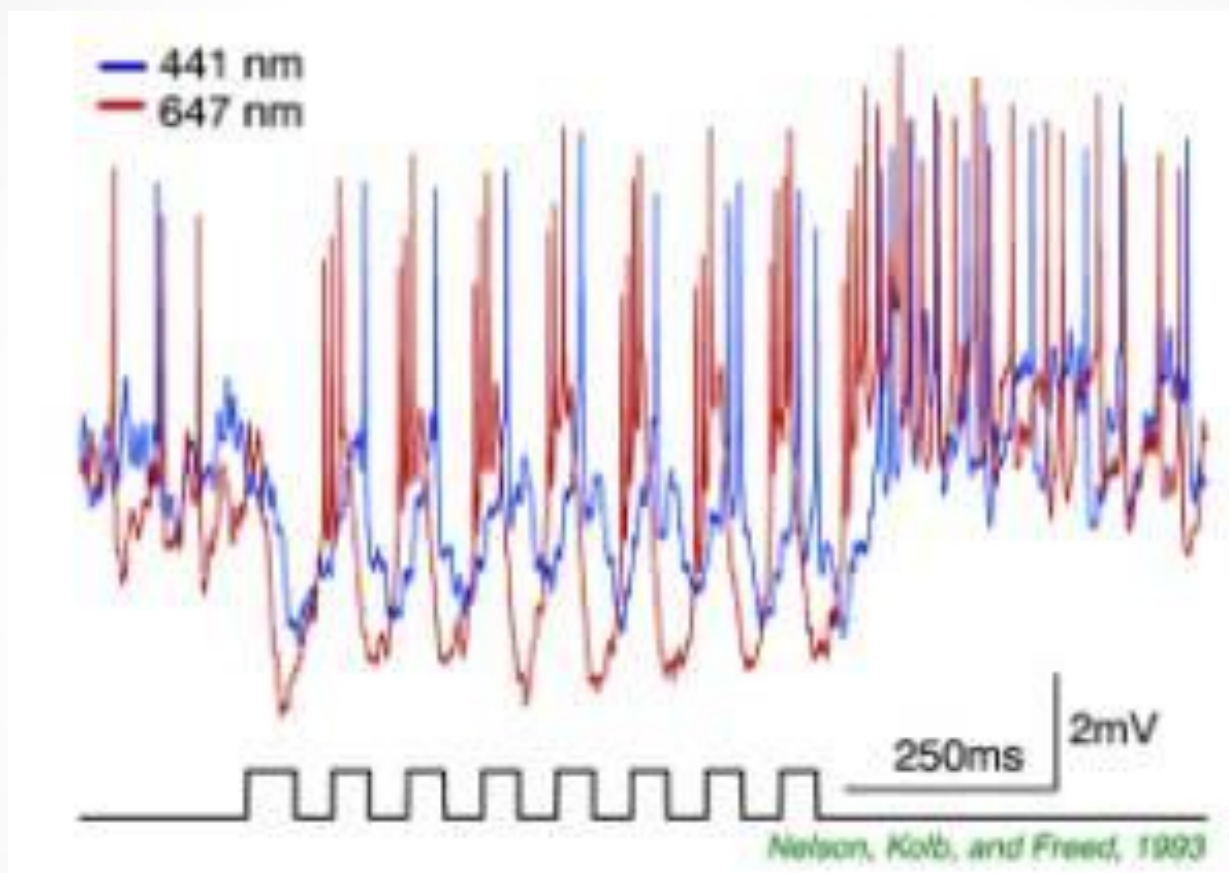


Rys. A. 29 . Porównanie czasu reakcji komórki zwojowej w przypadku stymulacji „preferowanym” przez pręciki (419nm) i czopki (610nm) światłem, przy żółtym tle oraz po adaptacji do ciemności.

(źródło: <http://195.117.188.199/a4.htm>)

pobudzenie

# Budowa oka



Rys. A. 30 . Opóźnienie reakcji pręcików względem reakcji czopków (na przykładzie siatkówki kota).  
(źródło: <http://195.117.188.199/a4.htm>)

# Własności widzenia

- Czynnością czopków jest widzenie kształtu i barw przedmiotów w jasnym oświetleniu
- czynnością pręcików jest przystosowanie oka do słabego oświetlenia i rozróżnianie zarysów przedmiotów

Tak więc widzenie plamkowe pozwala na dokładne rozpoznanie szczegółów, kształtu i barwy, zaś widzenie obwodem siatkówki daje orientację w przestrzeni

# Własności widzenia

- układ receptorów czopkowych
  - odpowiada za dokładne widzenie drobnych kształtów przedmiotów
  - umożliwia widzenie barwne
  - zapewnia najwyższą ostrość wzroku
- percepcja czopkowa zachodzi jedynie przy dobrym oświetleniu - *widzenie fotopowe*



# Własności widzenia

- system pręcików
  - pozwala na rozróżnianie zarysów przedmiotów
  - zapewnia orientację przestrzenną
  - umożliwia odbieranie bodźców przy minimalnym oświetleniu
- percepcja pręcików zachodzi przy słabym oświetleniu - *widzenie skotopowe*

# Mechanizm widzenia

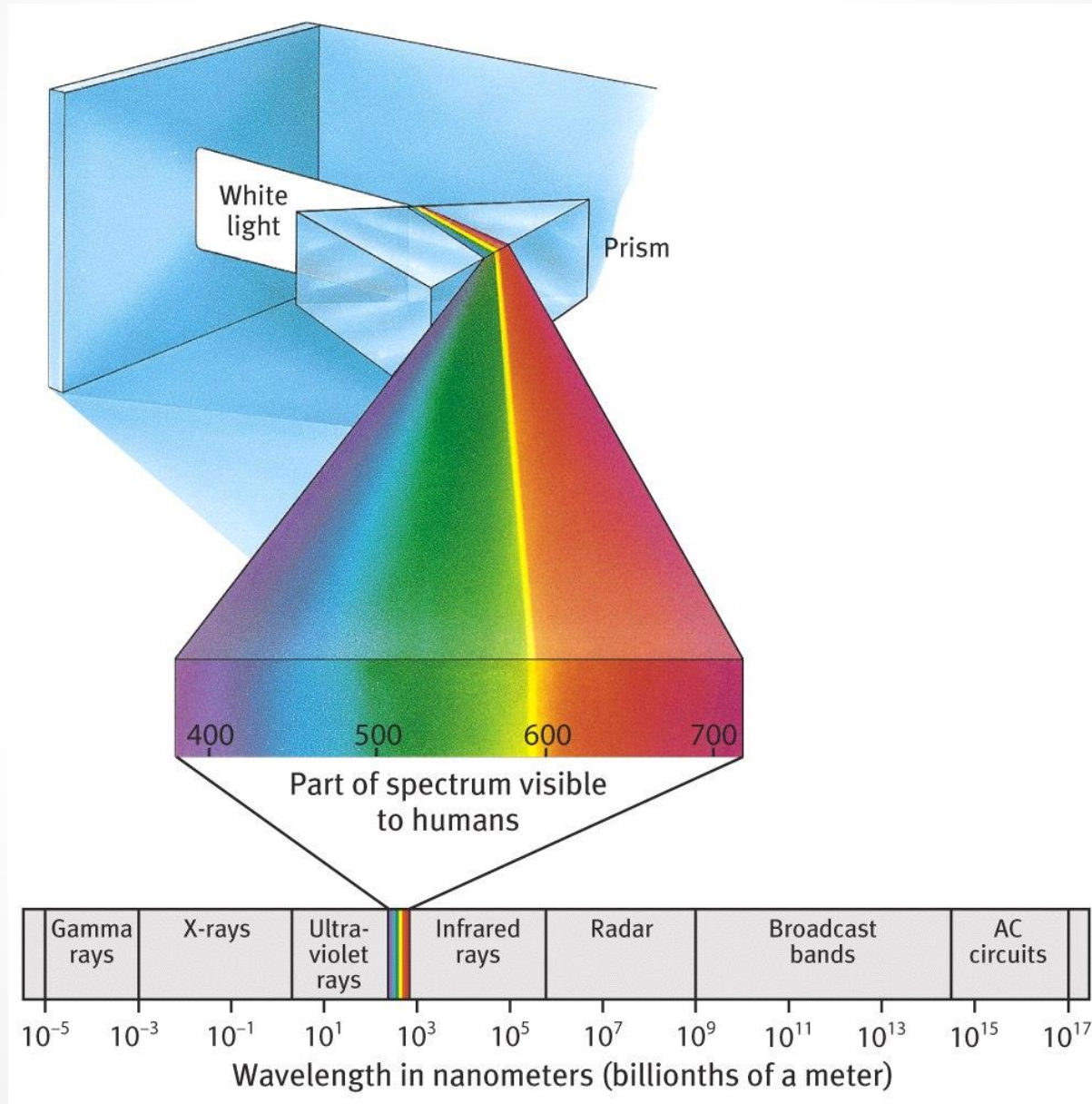
- Proces widzenia ma charakter elektrochemiczny. Kiedy w siatkówce komórki pręcikowe lub czopki zostają pobudzone światłem, to chemiczna kompozycja pigmentu zmienia się chwilowo. Powoduje to bardzo mały prąd elektryczny, który przechodzi do mózgu poprzez włókna nerwowe. Około 100 pręcików jest połączonych z pojedynczym włóknem nerwowym (patrz rys). W efekcie tego grupy pręcików są wysoce światłoczułe z powodu efektu sumowania się ich stymulacji. Z drugiej strony, ostrość jest niska, ponieważ mózg nie potrafi rozróżnić pojedynczych pręcików w grupie. W warunkach widzenia wyłącznie pręcikowego otrzymuje się raczej zamazany obraz. Pręciki nie rozróżniają kolorów, ale wrażliwość pigmentu pręcika różni się dla różnorodnych kolorów widmowych.

# Własności widzenia

Oko odbiera tylko część promieniowania nań padającego. Związane jest to z własnościami fizykochemicznymi rogówki, czopków i pręcików. Odbieramy zatem tylko światło, które mieści się w zakresie tzw. **okna optycznego**.

Okno optyczne to przedział długości fali elektromagnetycznej (światła) od ok. 400nm (co odpowiada światłu o barwie fioletowej) do ok. 700nm (co odpowiada światłu o barwie czerwonej). Powyżej długości 700nm znajduje się niewidoczna dla człowieka podczerwień, a poniżej 400nm, również niewidoczny, ultrafiolet.

# Widmo światła białego



# Własności widzenia

- Promieniowanie, które wnika do oka w różnym stopniu wywołuje reakcje elektrochemiczne w czopkach i pręcikach stając się źródłem bodźców.
- Najwyższa czułość oka w punktach 550 nm i 510 nm, malejącą wraz z oddalaniem się od tych maksimumów, aż do osiągnięcia wartości zero na krańcach okna optycznego - jest to jednoznaczne ze ślepotą oka na światło o danej długości fali.  
Przyjmuje się maksimum czułości czopków na 550 nm, a pręcików na 510 nm.

# Percepcja barw i odcieni

- za widzenie barw odpowiedzialne są fotoreceptory czopkowe
- **teoria Younga-Helmoltza** zakłada, że siatkówka posiada trzy różne rodzaje elementów światłoczułych
- relacja między wzbudzeniem w trzech różnych elementach odpowiada wrażeniu barwy, suma odpowiada jasności

# Percepcja barw i odcieni

- Przy bardzo niskim poziomie oświetlenia, gdy czopki przestają już funkcjonować, działanie przejmują pręciki. Kolory niebieskie stają się wtedy jaśniejsze w porównaniu z barwami czerwonymi. Zjawisko to zostało odkryte w 1825 roku przez czeskiego fizjologa o nazwisku Johann Evangelista Purkinje i jest od tego czasu zwane zjawiskiem Purkinjego (w literaturze można również spotkać określenia "przesunięcie Purkinjego" oraz "objaw Purkinjego").

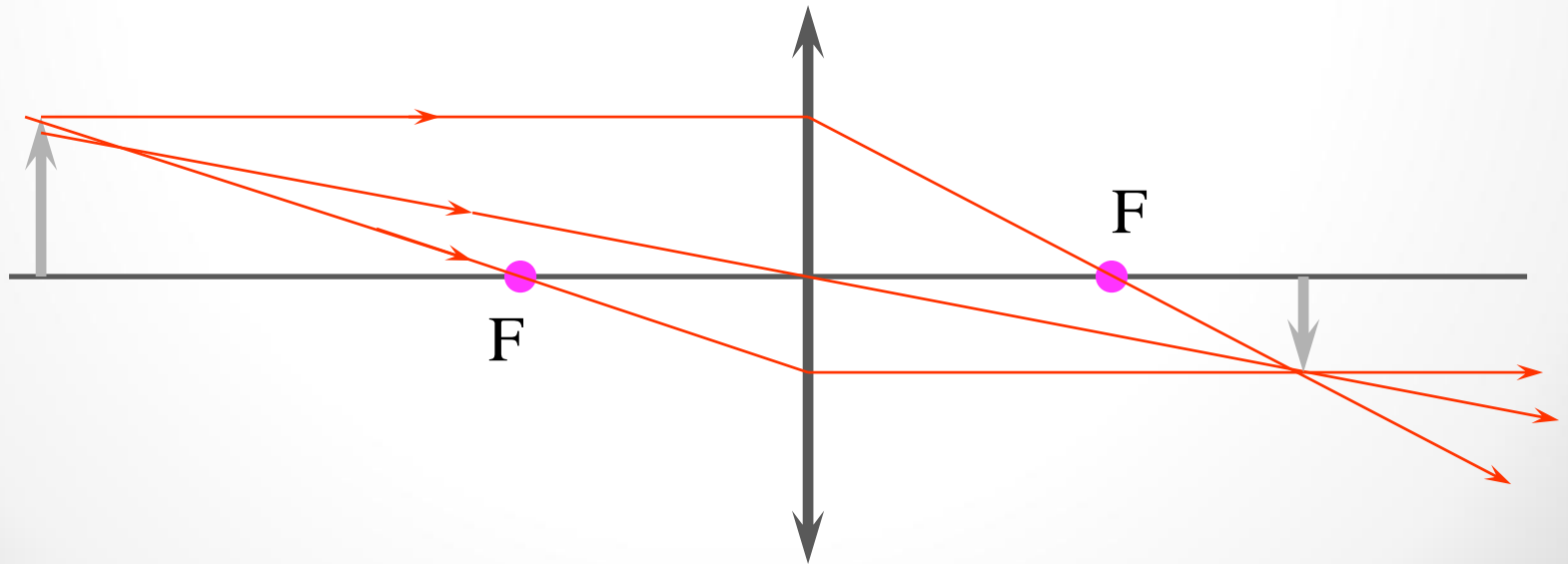
# Rozdzielczość wzroku

- średnica plamki żółtej: 0,475 mm
- średnica receptora czopkowego: 4,6  $\mu\text{m}$
- rozdzielczość oka =  $1'$  (1 minuta =  $1/60^\circ$ )
- ***Rozdzielczość oka*** - najmniejsza odległość między dwoma punktami, które można odróżnić okiem jako dwa oddzielne punkty
- ***Normalna wartość progowa percepcji wzrokowej*** - kąt widzenia równy 5 minutom, przy którym można rozróżniać szczegóły przedmiotów



# Własności widzenia

- obraz tworzony na siatkówce jest:
  - rzeczywisty
  - zmniejszony
  - odwrócony



# Budowa oka

- układ optyczny:
  - **rogówka**
  - komora przednia
  - **soczewka o zmiennej ogniskowej**
  - ciało szkliste
- oko ma kształt kuli, której średnica wynosi:
  - dla noworodka - 16 mm
  - dla osoby dorosłej - od 22,5 mm do 25 mm

# Budowa oka

- **Refrakcja**

Gałkę oczną można porównać do aparatu fotograficznego, gdzie obiektywem jest układ łamiący (optyczny) oka, a błoną, na której powstają obrazy, jest siatkówka. Zdolność i siła (określana w dioptriach) załamывania promieni świetlnych przez układ optyczny oka nazywa się łamliwością lub refrakcją.

# Budowa oka

- **Refrakcja**

Wiązka promieni wpadająca do oka i dążąca do siatkówki musi przejść przez cały układ optyczny oka (rogówka, komora przednia, soczewka i ciało szkliste) i na poszczególnych jego elementach ulega załamaniu. W układzie tym rogówka najsilniej załamuje światło i na nią przypada  $\frac{2}{3}$  mocy optycznej. Drugim ważnym elementem jest soczewka, która w spoczynku ma  $\frac{1}{3}$  mocy optycznej. Pozostałe ośrodki optyczne oka nie mają tak istotnego znaczenia w refrakcji oka.

# Budowa oka

- **Wada refrakcji**

Jest to wada wzroku nie pozwalająca promieniom świetlnym na skupianie się w pojedynczym ognisku na siatkówce. Do wad wzroku zalicza się krótkowzroczność, dalekowzroczność z ich odmianą astygmatyzmem.

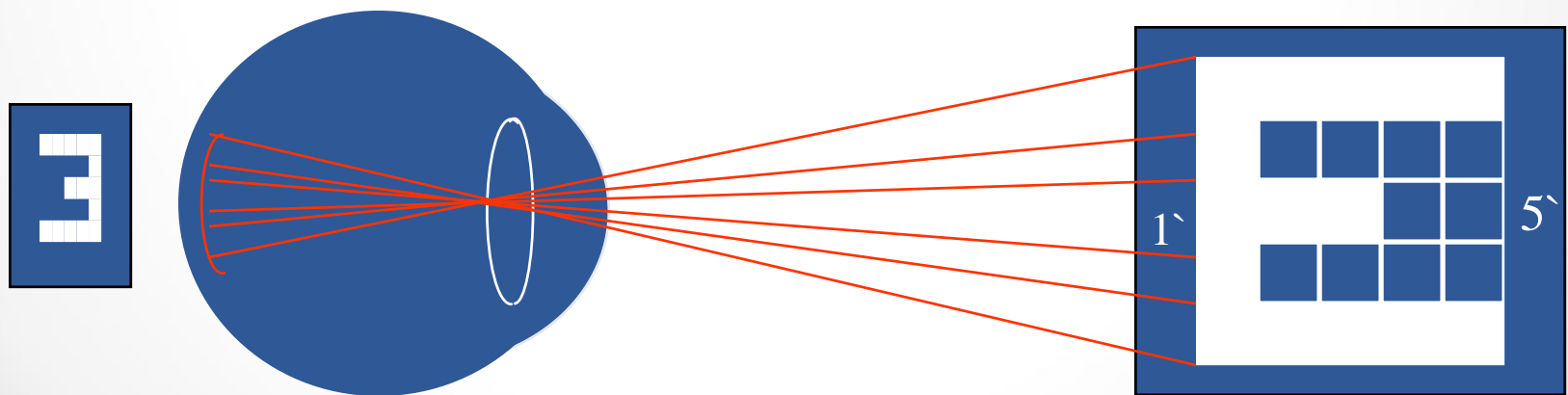
Wady refrakcji ocenia się wykonując skiaskopię lub autorefraktometrię (komputerową).

# Budowa oka

- **Miarowość (emmetropia)**  
Prawidłowe załamывanie światła w oku nazywa się miarowością. Promienie równoległe wpadają do oka i po załamaniu przez układ optyczny ogniskują się na siatkówce. Tylko w takim przypadku obraz będzie ostro i wyraźnie widziany przez człowieka.

# Rozdzielczość wzroku

- badanie ostrości wzroku
  - znaki optometryczne na tablicy Snellena
  - cały znak jest widziany pod kątem  $5'$
  - szczegół znaku jest widoczny pod kątem  $1'$



# Własności widzenia

Ostrość widzenia – rozpoznawanie obserwowanych szczegółów. Punktem odniesienia jest możliwość rozpoznawania dwóch elementów (punktowych) pod kątem 1 minuty łukowej z odległości 5 m, lub 10 sekund kątowych widzianej z odległości 10 m. Ostrość widzenia zmienia się wraz z warunkami ciążenia. Przy braku ciążenia ostrość jest największa, gdyż warunki te ułatwiają ciągłą oscylację gałki ocznej (tzw. fiksacja).



# Własności widzenia

Akomodacja, czyli zdolność nastawcza układu optycznego oka (soczewki) umożliwia widzenie ostre z różnej odległości. Przyjmuje się dwa charakterystyczne położenia soczewki:

- punkt bliży, czyli najbliższy punkt o dobrej ostrości oka (ok. 10 cm),
- punkt dali, czyli najdalszy punkt o dobrej ostrości oka (ok. 6 m).

Na akomodację ma wpływ: wiek, zmęczenie i natężenia oświetlenia, punkt dali się przybliża, a bliży – oddala. W zależności od wieku punkt bliży kształtuje się następująco:

# Własności widzenia

- Mechanizm akomodacji u człowieka:
  - zmiana kształtu soczewki oka, a wskutek tego zmiana jej ogniskowej, a więc – zmiana jej zdolności skupiającej
- Skupienie wzroku na obiekcie znajdującym się daleko – wskutek rozluźnienia mięśnia rzęskowego, które skutkuje napięciem wiązadeł połączonych koncentrycznie z brzegiem soczewki i w efekcie jej **splaszczenie**
- Skupienie wzroku na obiekcie znajdującym się blisko – na skutek skurczu mięśnia rzęskowego, zwolnienia wiązadeł i **zaokrąglenia** soczewki

# Własności widzenia

- O jakości widzenia decydują właściwości narządu wzroku, cechy sygnału i czynniki fizyczne środowiska zewnętrznego, w jakim się ten proces odbywa. Ogólnie można by je określić w sposób następujący:
  1. Widzenie nie jest procesem natychmiastowym (potrzebny jest czas, aby nastąpiła reakcja, a kiedy zaniknie, wrażenie utrzymuje się jeszcze chwilę (dziesiątne części sekundy))
  2. Narząd wzroku jest zmysłem, który w sposób najbardziej widoczny realizuje cechę systemu percepcyjnego, jaką jest zmienność w czasie napływającej informacji

# Bezwładność wzroku

- oko jest zdolne przechowywać wrażenie wzrokowe w czasie mniej więcej 0,1 sekundy
- fakt ten wykorzystywany jest w kinie, gdzie wyświetlane są kolejne nieruchome kadry filmu z prędkością 24 klatek na sekundę (w TV: 25 fps)
- podczas widzenia mózg pełni rolę korygującą, sprawia, że dwa jednakowe przedmioty znajdujące się niedaleko nas, ale w różnych odległościach nie wydają się nam różne rozmiarami

# Własności widzenia

Związek czasu i intensywności bodźca, charakterystyczny dla wszystkich procesów fotochemicznych. Oko reaguje na ogólną sumę działającej energii. Dlatego też samo wrażenie można uzyskać zwiększając czas oddziaływania bodźca, przy równoczesnym zmniejszeniu jego intensywności.

# Własności widzenia II

**Zbieżność oczu (konwergencja)**, czyli zdolność kierowania obojga oczu na jeden punkt. Przy prawidłowej reakcji na obu gałkach powstają dwa obrazy, które nakładają się na siebie i zostają skojarzone jako pojedynczy obraz.

# Własności widzenia II

**Stereoskopowość (stereopsja)** – ang. *stereopsis*, czyli właściwość wzroku polegająca na postrzeganiu głębi (przestrzeni) obserwowanej sceny

Zdolność ta wynika z faktu patrzenia na obraz każdym okiem z nieco innej perspektywy (paralaksa). Oceniana jest różnica obrazów powstających na siatkówkach obu oczu na podstawie następujących spostrzeżeń:

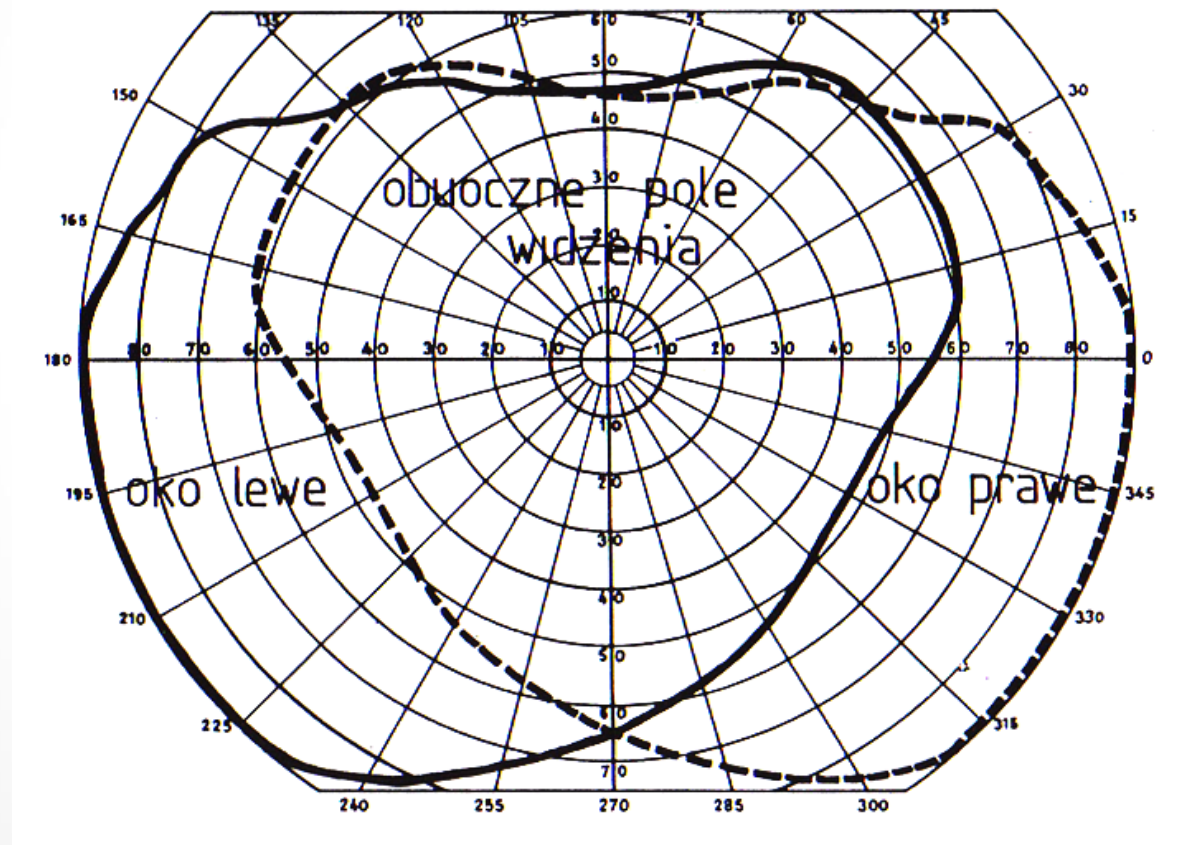
# Własności widzenia II

- wzajemny stosunek wielkości przedmiotów,
- względna szybkość ruchu oddalonych przedmiotów,
- położenie jednych w stosunku do drugich,
- względna luminancja,
- ostrość widzenia.



# Własności widzenia II

## Obuoczne pole widzenia



# Własności widzenia II

Analiza obrazu nie jest  
szczegółowa lecz ogólna.

10% pola widzenia (peryferyjna  
część oka) dostarcza informacji  
o ruchu obrazu.