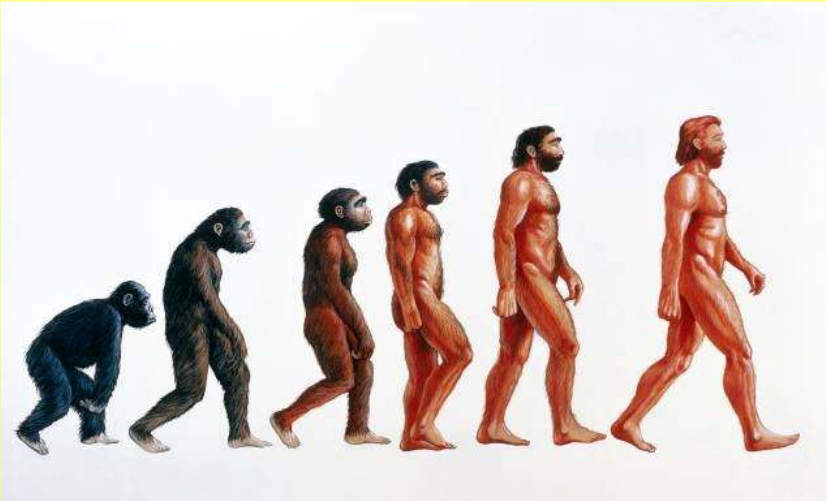


Wojskowa Akademia Techniczna • Geosystems Polska Sp. z o.o.
IV Konferencja naukowo-techniczna „Wykorzystanie współczesnych zobrazowań satelitarnych, lotniczych i naziemnych
dla potrzeb obronności kraju i gospodarki narodowej”
Wdzydze Kiszewskie, 27 – 29 maja 2009 r.

PROCES PRZETWARZANIA INFORMACJI OBRAZOWEJ A MOŻLIWOŚCI RECEPCYJNE OKA

Dr inż. Pavel Neytchev

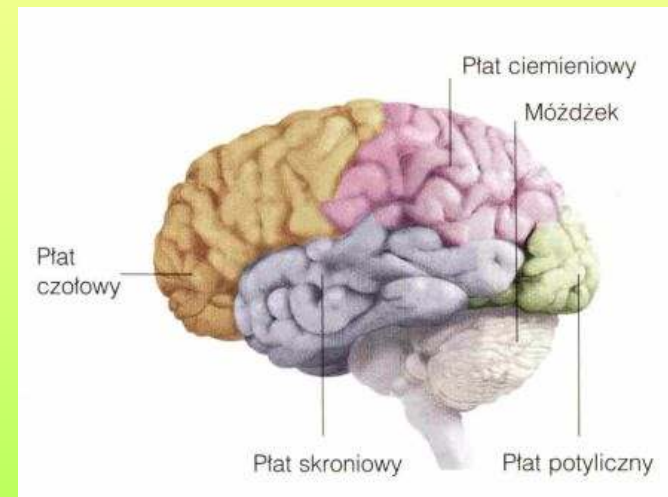
UNIWERSYTET GDAŃSKI • Instytut Geografii
Pracownia Kartografii, Teledetekcji i Systemów Informacji Geograficznej
80-264 Gdańsk, ul. R. Dmowskiego 16 A
Tel.: (0 58) 3410061, Faks: (0 58) 3460316, E-mail: neytchev@univ.gda.pl



Struktura mózgu jest wynikiem milionów lat rozwoju, adaptacji ewolucyjnych umożliwiającą sprawne działanie pozwalające na przetrwanie gatunku w zmiennych, niekorzystnych warunkach.

Mózg to zespół najwyższych ośrodków czuciowych, kojarzeniowych i ruchowych, stanowiący centralną część ośrodkowego układu nerwowego.

Jest substratem pozwalającym na istnienie umysłu.



Umysł to ogół aktywności mózgu ludzkiego, przede wszystkim takich, których posiadania człowiek jest subiektywnie świadomy: spostrzeganie, myślenie, zapamiętywanie, odczuwanie emocji, uczenie się.

Budowa mózgu ogranicza potencjalnie możliwe abstrakcyjne stany umysłu do takich, które można fizycznie zrealizować.

Procesy zachodzące w mózgu są warunkiem koniecznym istnienia umysłu, ale samo badanie tych procesów nie pozwoli w pełni zrozumieć indywidualnego umysłu.

Umysł rozumiany jako zbiór stanów, relacji pomiędzy tymi stanami i funkcji poznawczych, pozwalających na tworzenie nowych stanów, jest czymś abstrakcyjnym i niematerialnym.

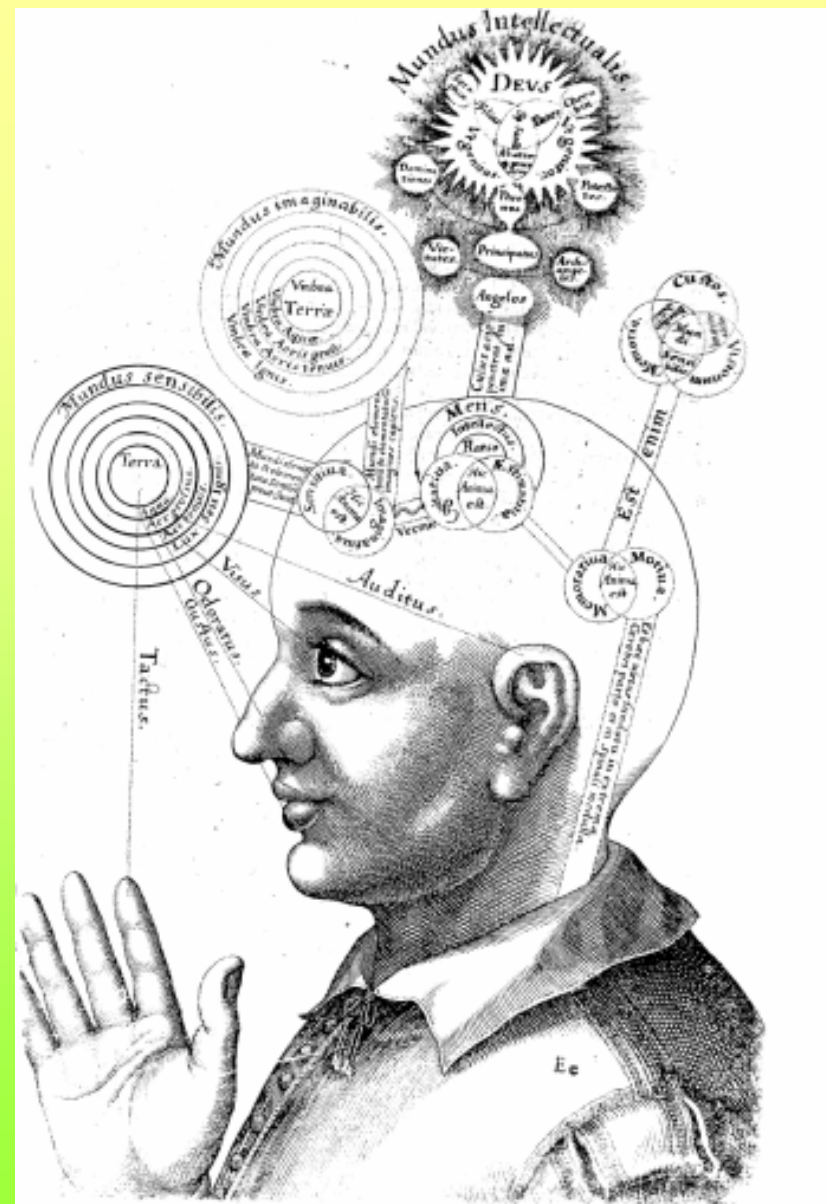
Potrzeby organizmu i jego możliwości poznawcze, znajdujące odbicie w strukturze mózgu, stwarzają ramy dla powstania subiektywnego obrazu świata.

Procesy neurofizjologiczne odpowiedzialne za zdarzenia mentalne mają rację bytu tylko ze względu na istnienie umysłu.

Pomiędzy procesami mentalnymi i stanami mózgu istnieje ścisła odpowiedniość.

Zachodzące w mózgu procesy neurofizjologiczne umożliwiają powstanie stanów mentalnych, ale ich nie wyjaśniają.

Struktura umysłu jest rezultatem niepowtarzalnej historii jednostki.



Homo sapiens sapiens (1,4 l)

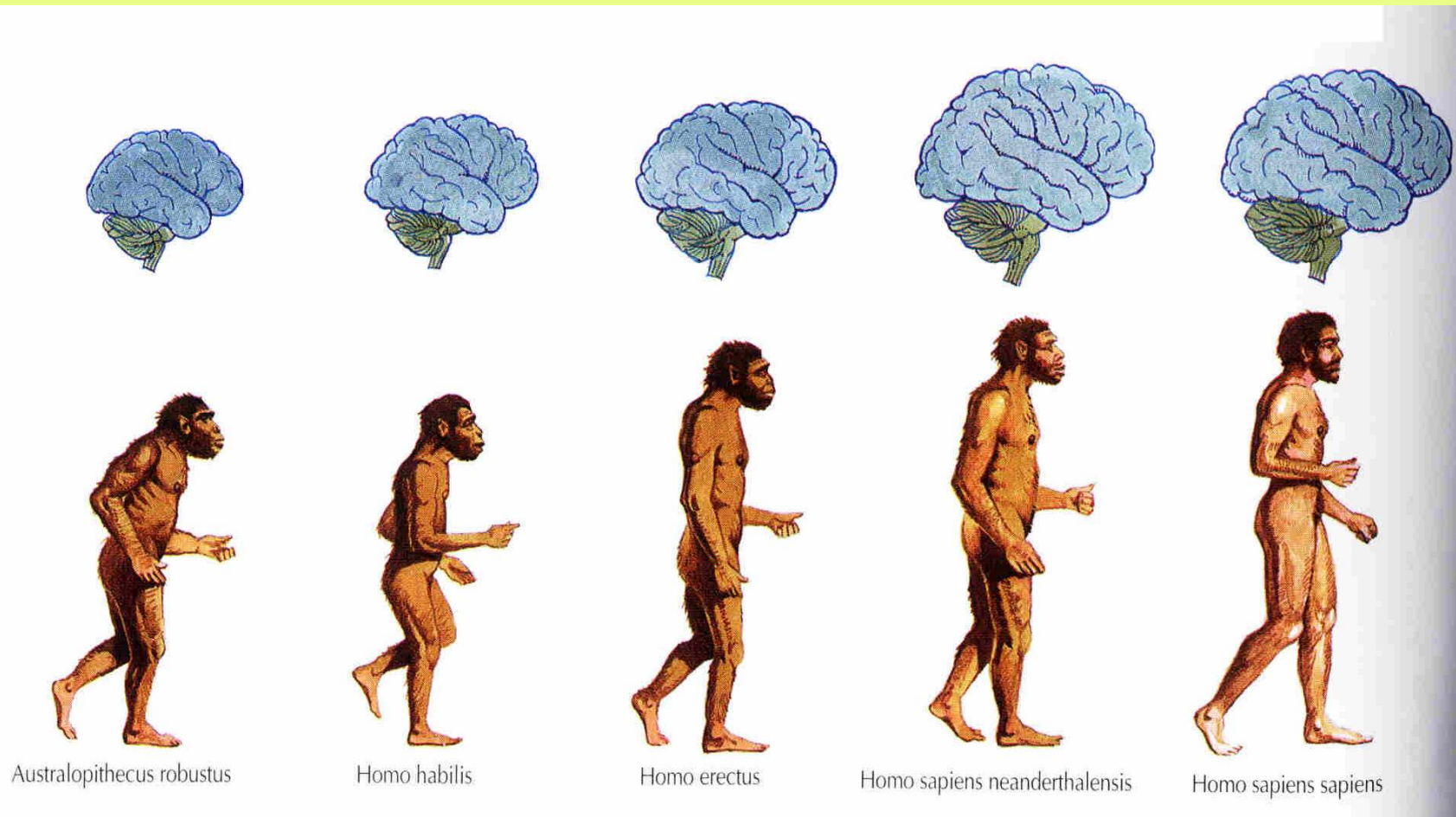
Homo sapiens neandertalis (1,6 l)

(ostatni neandertalczyk żył ok. 35 000 lat temu,
oddzielił się od przodków Homo sapiens
250 000 lat temu)

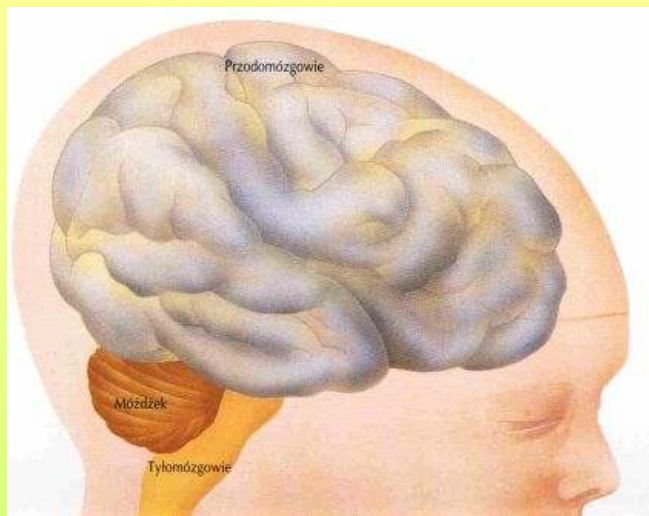
Homo erectus (1,5 mln lat; 1,0 l);

Homo habilis (2,5 mln lat; 0,65 l);

Australopithecus robustus (4-5 mln lat; czaszka < 0.5 litra);



Mózg człowieka w liczbach



Masa mózgu podczas narodzin to zaledwie 1/4 mózgu dorosłego, osiąganego w wieku 17-18 lat.

2 lata - masowa reorganizacja kory mózgu, tzw. *amnezja dziecięca*, (zapominanie zdarzeń z pierwszych dwóch lat życia).

6 lat - mózg 3x większy niż w momencie narodzin.

ok. 12 lat - stabilizacja płatów czołowych.

ok. 20 lat - koniec reorganizacji, niewielkie zmiany następują przez całe życie.

Masa mózgu dorosłej osoby: średnio 1375 gramów (od 1.0-2.5 kg), (mózg Einsteina miał 1230 gramów).

Objętość: ok. 1,4 litra.

Powierzchnia kory: ok. 2500 cm².

Liczba neuronów (duże rozbieżności w literaturze): wg G.M. Shepherd (1998) to ok. 40 mld neuronów. (Inne źródła podają nawet 100 mld neuronów.)

Synapsy neuronów: ok. 5×10^{13} połączeń, czyli 50 bilionów, ale niektóre opracowania podają nawet $2,4 \times 10^{14}$, czyli 240 bilionów.

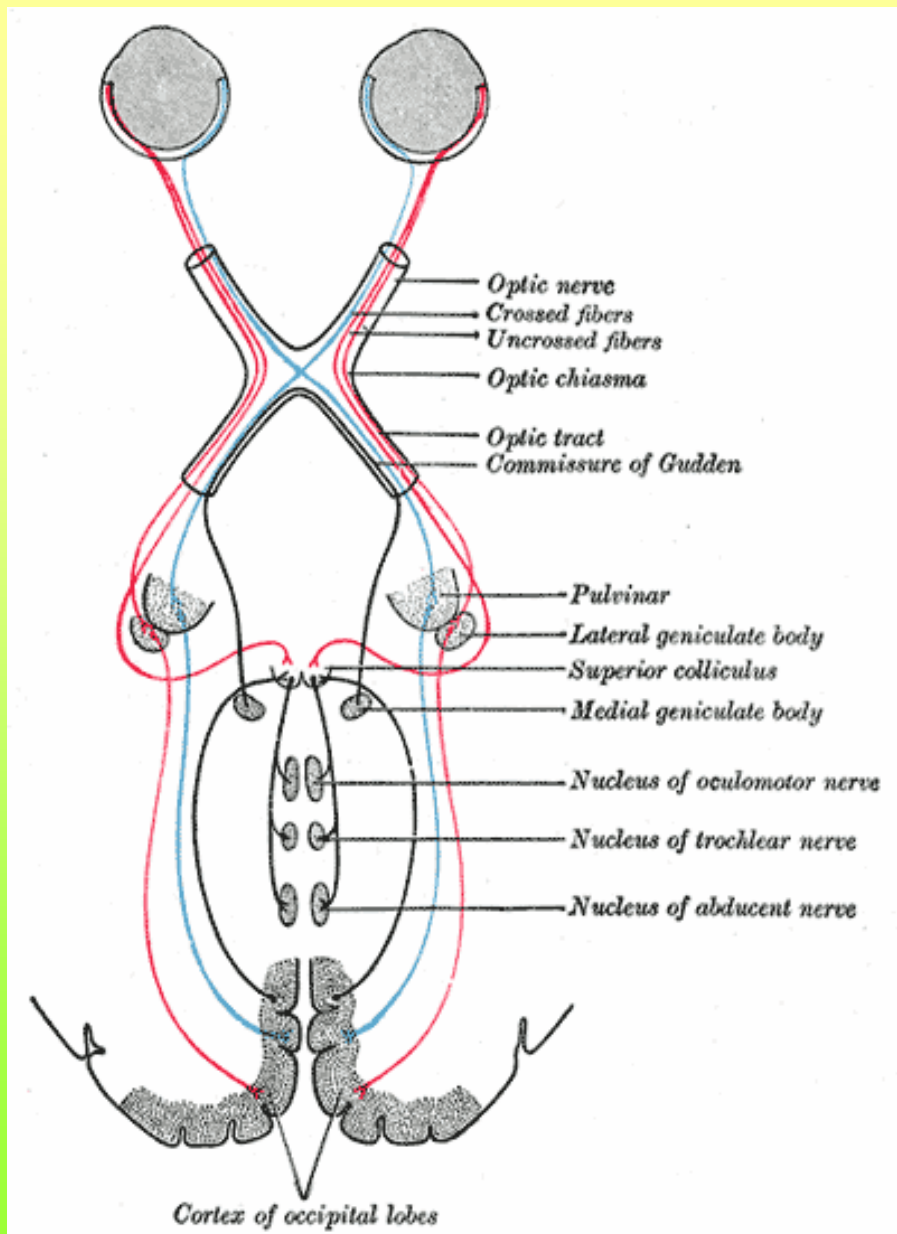
Pojemność pamięci człowieka: rzędu $10 \times 10^{14} = 1$ Petabit, traktując stan każdej synapsy średnio jako 10 bitów informacji (naiwne oszacowanie).

Moc obliczeniowa: prawdopodobnie nie przekracza 1 Pflopa.

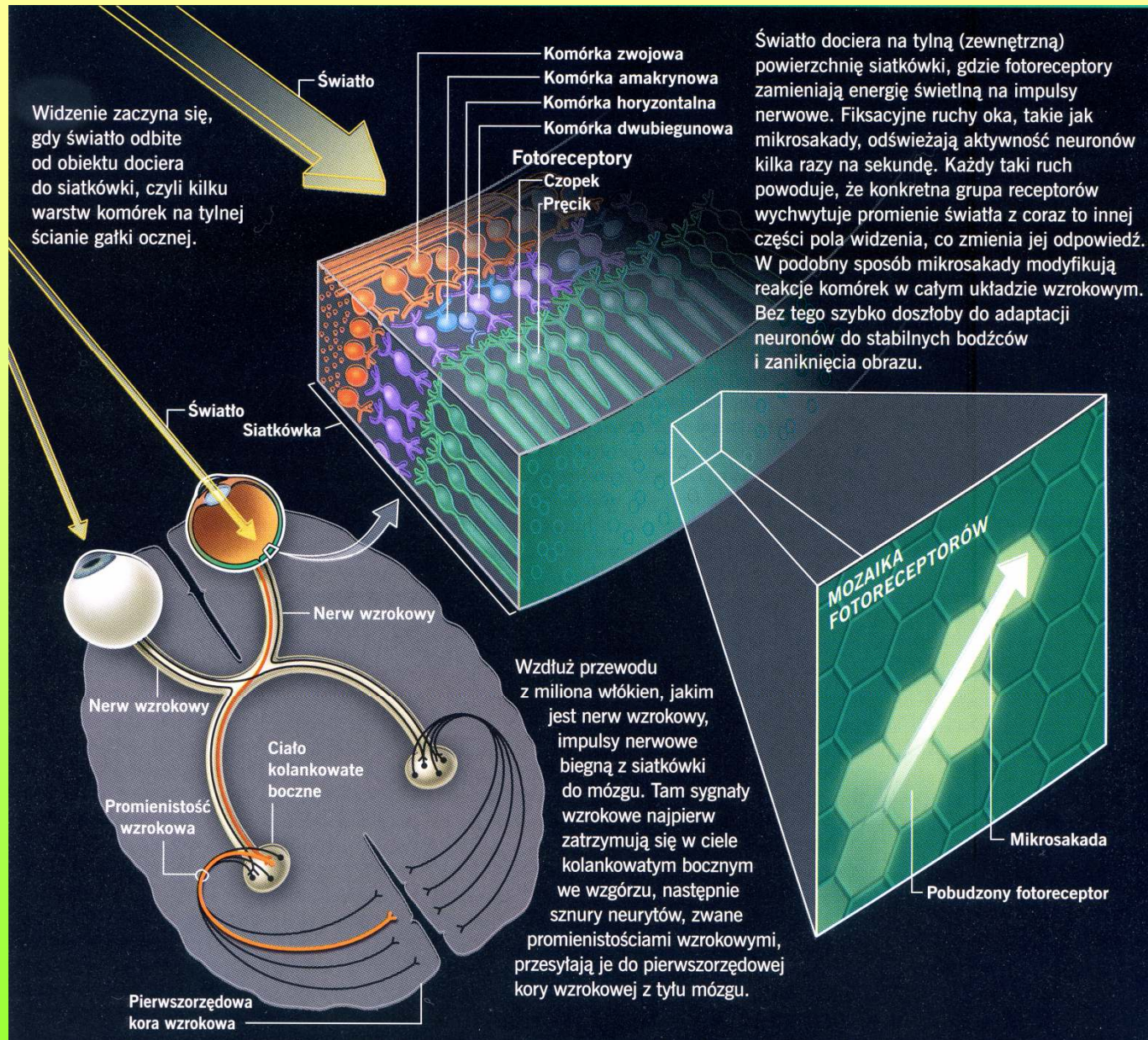
Sprawne funkcjonowanie człowieka w otaczającym środowisku wymusza zebranie jak największej ilości informacji o obiektach, zjawiskach i procesach, z którymi mamy styczność. Źródłem informacji o otaczającym nas środowisku są nasze zmysły. Każdy z nich ma swój zakres działania, poza którym nie mamy możliwości odbierania informacji o otoczeniu.

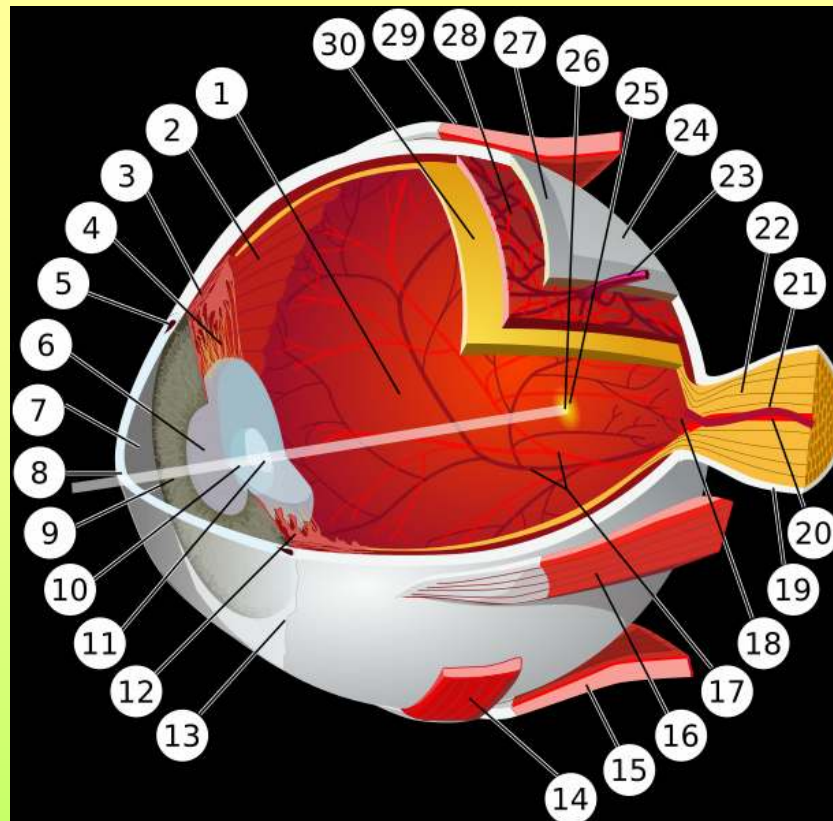
Informacje zmysłowe odbierane są przez receptory, których zadaniem jest przetwarzanie odbieranych sygnałów o konkretnej substancji materialnej (np. fale świetlne lub akustyczne) na sygnały nerwowe. Jednak wrażenia, jakich doznajemy, nie są zdeterminowane pobudzeniem określonych nerwów. W dużym stopniu zależą od pracy całego analizatora, czyli - od współpracy wszystkich struktur i dróg nerwowych wyspecjalizowanych w odbiorze i analizie bodźców danej substancji materialnej.

Na szczególną uwagę w procesie poznawania otoczenia zasługuje zmysł wzroku, czyli zdolność układu nerwowego do odbierania bodźców świetlnych i przetwarzania ich w mózgu na wrażenia wzrokowe. Jest on najbardziej predysponowany do zdalnego odbierania wrażeń oraz jest najchłonniejszy z naszych zmysłów.



Narząd wzroku składa się z gałki ocznej, aparatu ochronnego i aparatu ruchowego oka oraz połączeń nerwowych siatkówki oka ze strukturami mózgu. Gałka oczna znajduje się w przedniej części oczodołu i porusza się dzięki ruchom mięśni ocznych w zagłębieniu utworzonym przez tkankę tłuszczową oczodołu i liczne powięzie. Wychodzący z niej nerw wzrokowy przechodzi przez otwór kostny do wnętrza czaszki i dalej do mózgu. Połączenie to nazywane jest *drogą wzrokową*, czyli droga przenoszenia bodźców wzrokowych z siatkówki gałki ocznej do pierwszorzędowej kory wzrokowej na powierzchni przyśrodkowej płata potylicznego mózgu.





Schemat gałki ocznej u człowieka:

1 - komora tylna oka, 2 - rąbek zębany siatkówki, 3 - mięsień rzęskowy, 4 - obwódka rzęskowa, 5 - kanał Schlemma, **6 - źrenica**, 7 - komora przednia oka, 8 - rogówka, 9 - tęczówka, 10 - kora soczewki, 11 - jądro soczewki, 12 - wyrostek rzęskowy, 13 - spojówka, 14 - mięsień skośny, dolny, 15 - mięsień prosty, dolny, 16 - mięsień prosty, przyśrodkowy, 17 - tętnice i żyły siatkówki, **18 - tarcza nerwu wzrokowego**, 19 - opona twarda, 20 - tętnica środkowa siatkówki, 21 - żyła środkowa siatkówki, **22 - nerw wzrokowy**, 23 - żyła wirowata, 24 - otoczka gałki ocznej, **25 - plamka żółta**, **26 - dołek centralny siatkówki**, 27 - twardówka, 28 - naczyniówka, 29 - mięsień prosty, górny, **30 - siatkówka**.

Siatkówka (łac. *retina*) - część oka, która jest elementem odbierającym bodźce wzrokowe. Jest specyficznej budowy błoną znajdującą się wewnątrz gałki ocznej, na jej tylnej powierzchni.

Podstawowymi elementami budowy siatkówki są ułożone w kilka warstw komórki nerwowe, które z mózgiem łączy nerw wzrokowy.

Zmodyfikowane neurony: *czopki* i *pręciki*, są jej światłoczułymi receptorami. Siatkówka ludzkiego oka zawiera ok. 6 mln czopków i 100 mln pręcików.

Pręciki są wrażliwe na natężenie światła, pozwalają na widzenie czarno-białe. Są wydłużonymi, cienkimi komórkami które w swej zewnętrznej części zawierają światłowrażliwy barwnik - rodopsynę. Pręciki nie występują w dołku środkowym, za to jest ich dużo w częściach peryferyjnych siatkówki.

Czopki skupiają się w centralnej części siatkówki i odpowiadają za widzenie barwne. Zawierają trzy barwniki wrażliwe na światło niebieskie, zielone i czerwone. Czopki są też odpowiedzialne za ostrość widzenia.

Największa ilość receptorów znajduje się w *plamce żółtej*, zaś w *plamce ślepej* nie ma ani jednego.

Do siatkówki przylega od tyłu warstwa komórek wypełnionych czarnym pigmentem, który absorbuje nadmiar światła wpadającego do oka i zapobiega zamazywaniu (zacieraniu konturów) obrazu przez światło odbite wewnątrz oka.

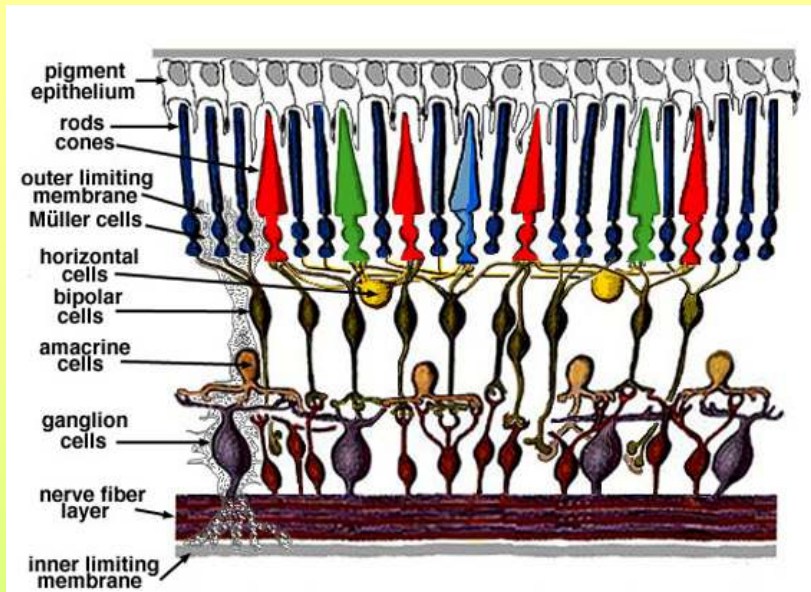
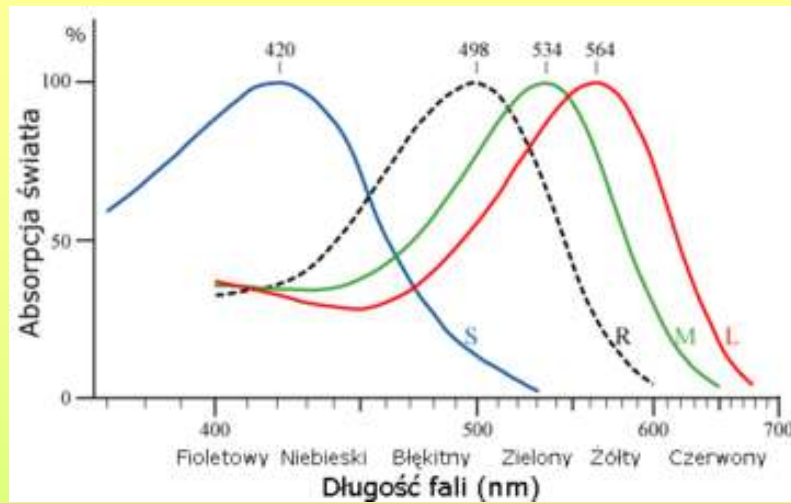


Fig. 2. Simple diagram of the organization of the retina.

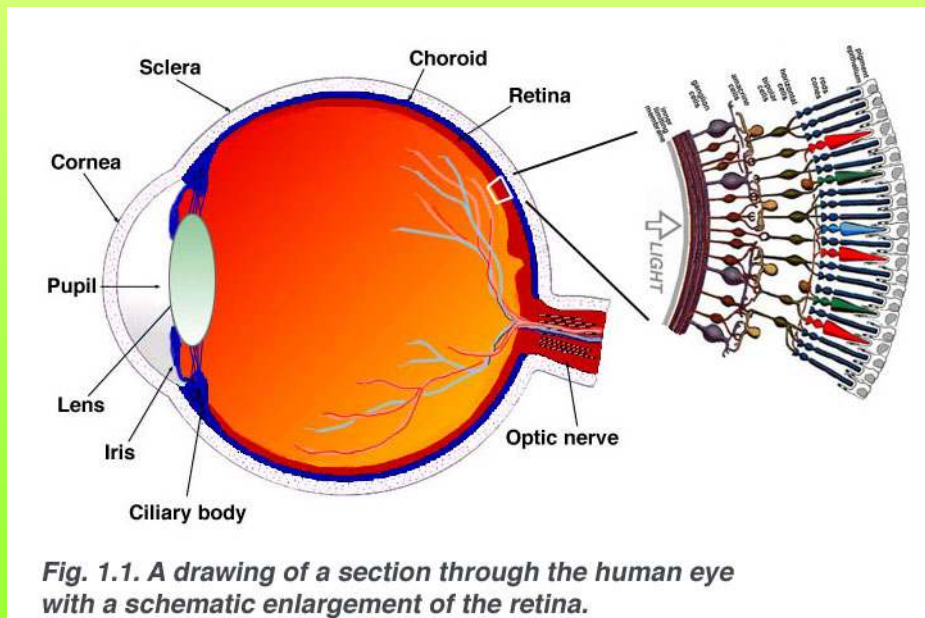


Fig. 1.1. A drawing of a section through the human eye with a schematic enlargement of the retina.

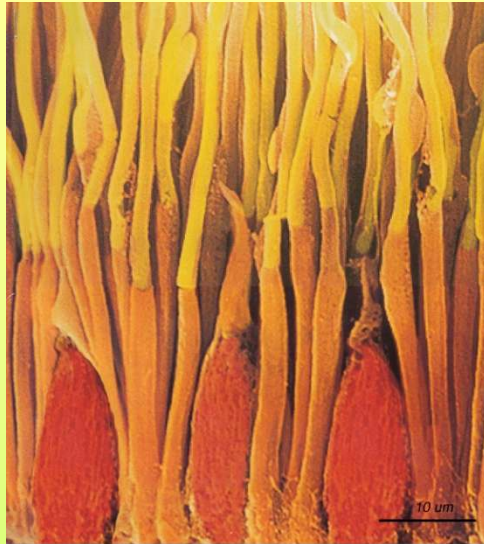


Fig1b. Scanning electron micrograph of the rods and cones of the primate retina. Image adapted from one by Ralph C. Eagle/Photo Researchers, Inc.

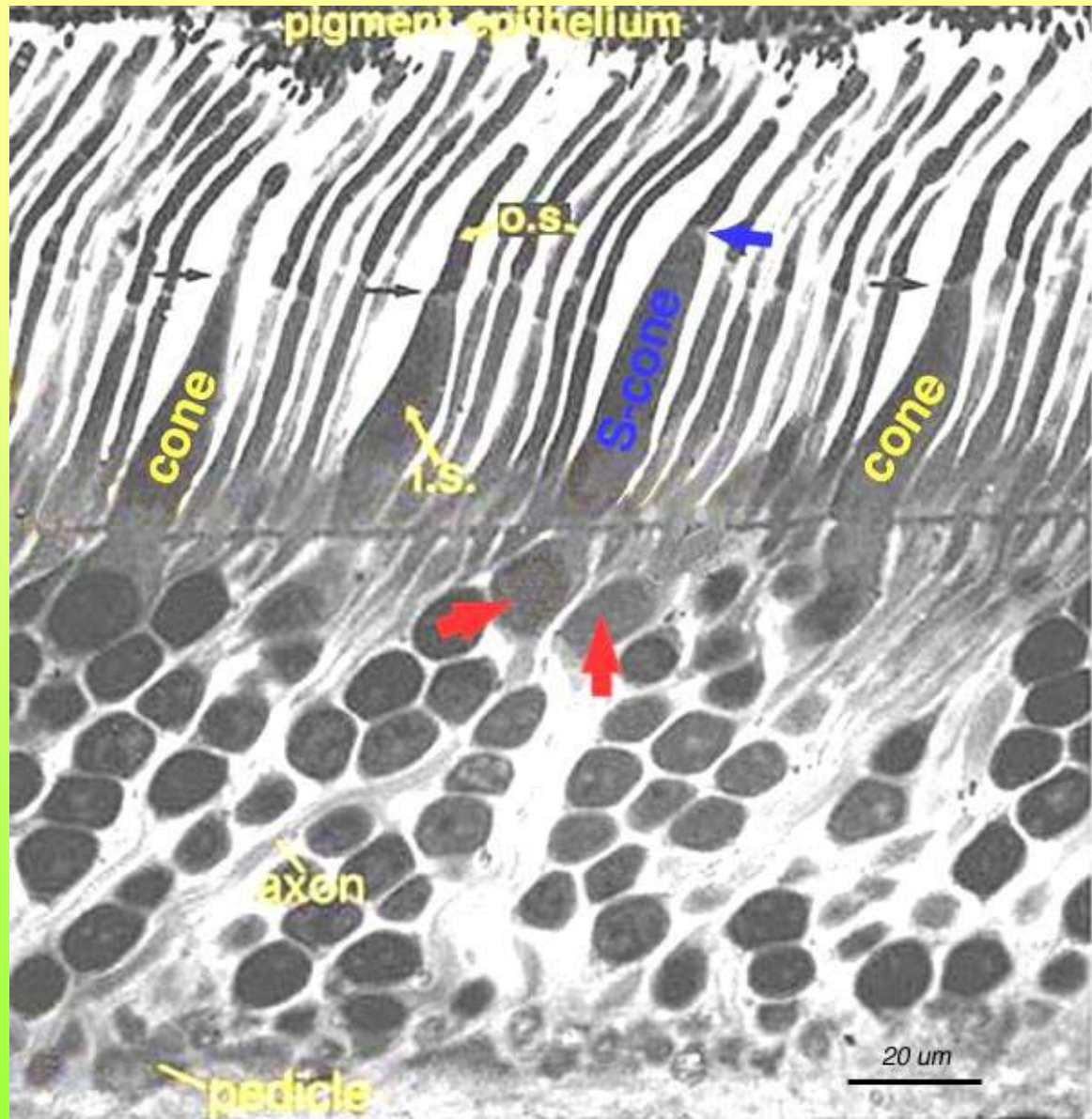


Fig. 1a. Semithin section of human outer retina to show the rods and cones. Short wavelength cones (blue cones) are commonly found occurring next to a neighbouring longer wavelength cone (red arrows).

Pręciki	Czopki
<u>Widzenie nocne (skotopowe)</u>	<u>Widzenie dzienne (fotopowe)</u>
Około 100 milionów	Około 6 milionów
Chromoproteida/pigment: <i>rodopsyna</i>	Chromoproteida/pigment: <i>jodopsyna</i>
Bardzo duża czułość; Czułość na światło rozproszone	Niewielka czułość; Czułość tylko na światło bezpośrednie
Ich brak powoduje <i>ślepotę zmierzchową</i>	Ich brak powoduje <i>ślepotę</i>
Mała ostrość	Wysoka ostrość; lepsza rozdzielczość
Wolna reakcja na światło	Szybka reakcja na światło
Posiadają więcej pigmentu niż czopki, dlatego wykrywają słabsze światło	Posiadają mniej pigmentu niż pręciki, dlatego potrzebują więcej światła do otrzymania obrazów
Jeden typ światłoczułego barwnika	Trzy typy światłoczułego barwnika (u ludzi)

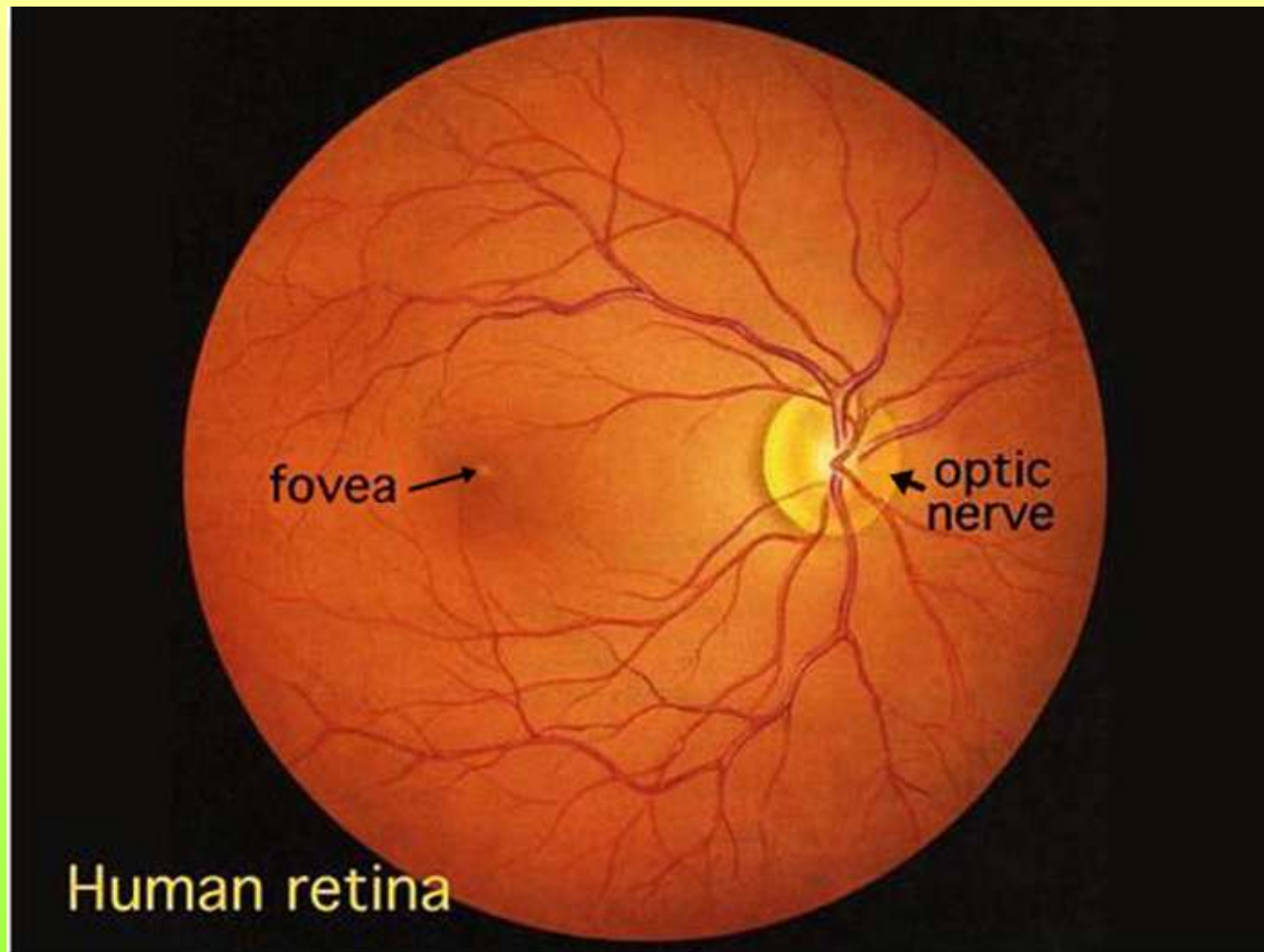


Fig. 1. Human retina as seen through an ophthalmoscope.

Plamka żółta (*macula lutea*) – miejsce na siatkówce oka niektórych kręgowców (kameleony, naczelne) o największej rozdzielczości widzenia związanej z największym zagęszczeniem czopków. Fotoreceptory plamki żółtej zawierają żółty barwnik, z czego wynika jej nazwa.

W centrum plamki żółtej znajduje się zagłębienie zwane dołkiem środkowym (*fovea centralis*). Dołek leży dokładnie w osi poziomej oka, u człowieka około 3,4 mm od brzegu tarczy nerwu wzrokowego. Obraz przedmiotu, na którym fiksujemy wzrok jest rzutowany właśnie na dołek środkowy. Jest to obszar najostrzejszego widzenia, pokrywający jednak zaledwie 2° kąta wzrokowego.

W dołku środkowym rozgranicza się okrągłe dno i pochyłe zbocza. Średnica dołka wynosi (wg różnych źródeł) od ok. 0,6 mm do 1,2 mm, a średnica dna - ok. 0,250 mm. Na dnie dołka obecne są jedynie czopki. Czopki te mają charakterystyczną budowę – są znacznie cieńsze (ok. 1 do 1,5 μm) niż czopki w innych miejscach siatkówki. Jest ich około 17500 i jest to jedyne miejsce, z którego nerwy biegną bezpośrednio do kory wzrokowej. Wszystkie inne fotoreceptory oka połączone są najpierw z odpowiednimi komórkami pośrednimi. Ogółem ilość czopków w dołku środkowym szacowana jest na 60000÷200000.

Normal human retina

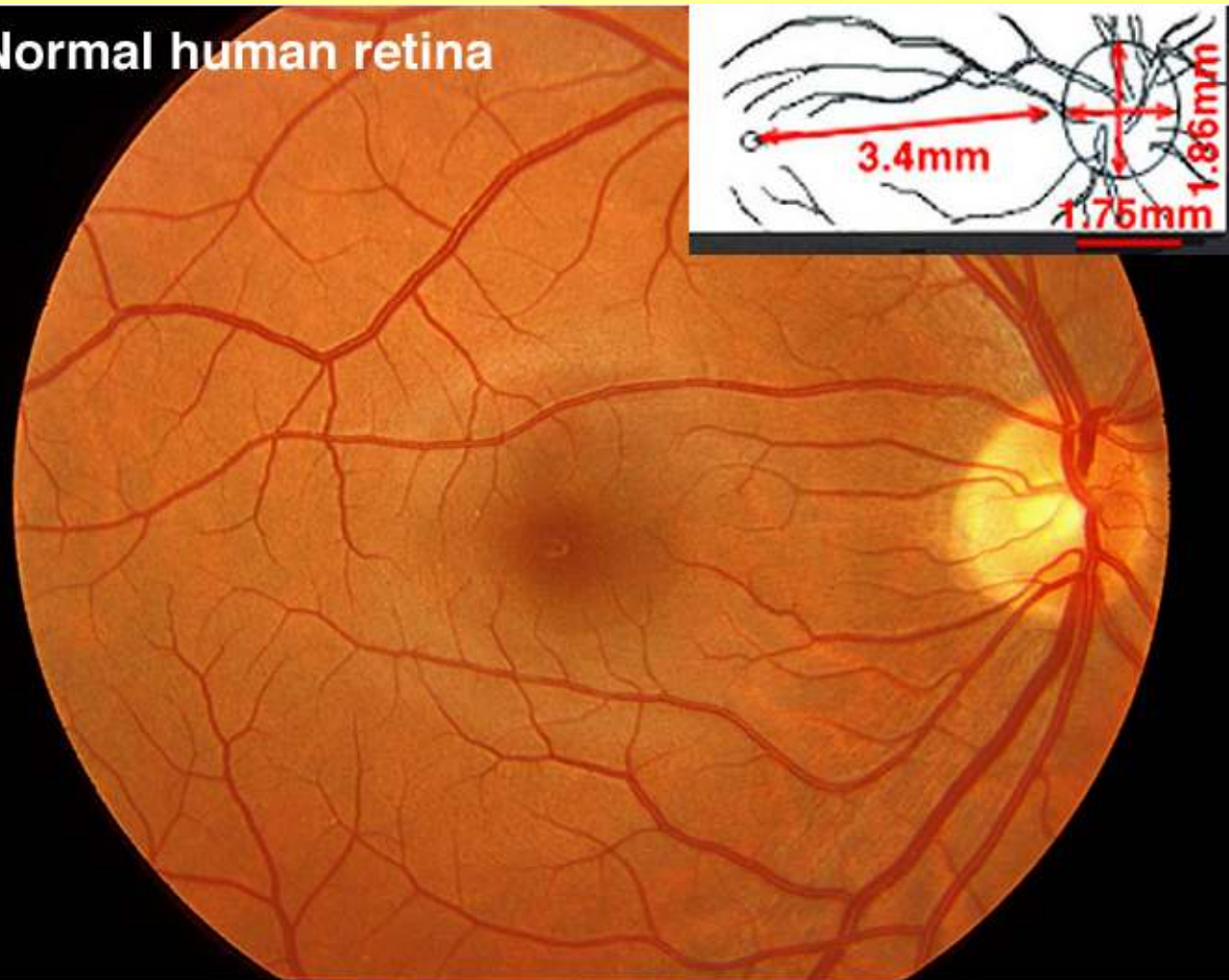


Fig. 1. Topography and dimensions of optic nerve and distance to the fovea in the human retina

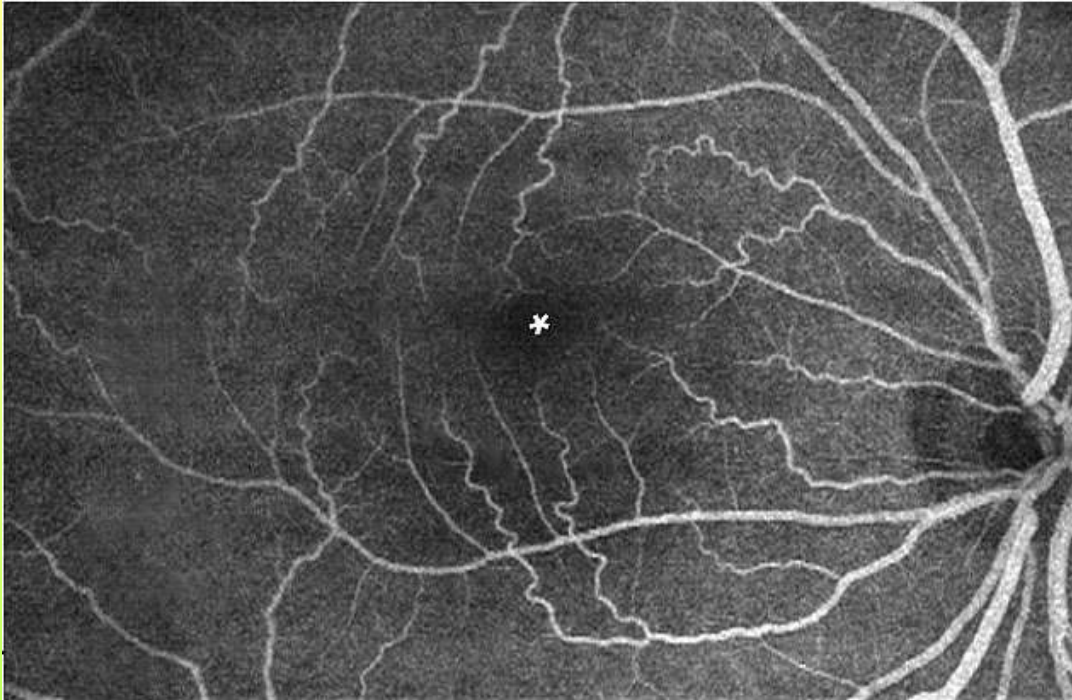


Fig. 17. Fundus photograph showing fluorescein imaging of the major arteries and veins in a normal human right eye retina. The vessels emerge from the optic nerve head and run in a radial fashion curving towards and around the fovea (asterisk in photograph). (Image courtesy of Isabel Pinilla, Spain).

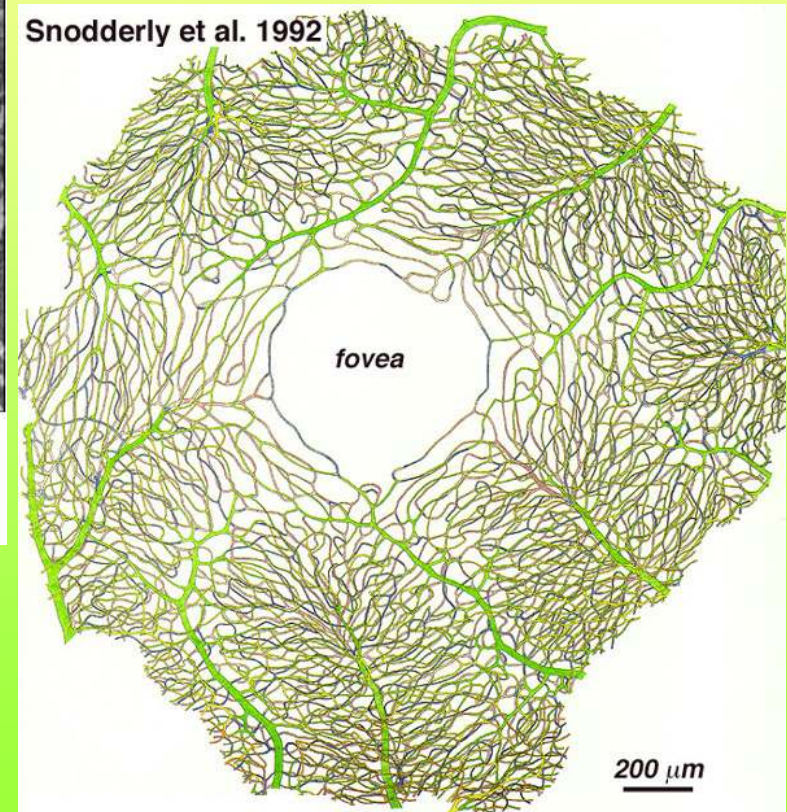


Fig. 20. Diagram of the retinal vasculature around the fovea in the rhesus monkey derived from more than 80 microscope fields.

Human fovea

cones only

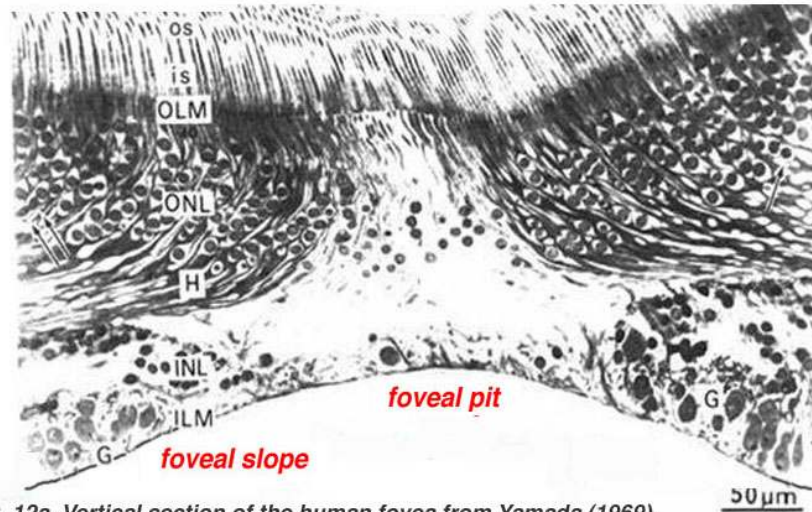


Fig. 12a. Vertical section of the human fovea from Yamada (1969).
os, outer segments; is, inner segments; OLM, outer limiting membrane; ONL, outer nuclear layer; H, Henle fibers; INL, inner nuclear layer; ILM, inner limiting membrane; G, ganglion cells

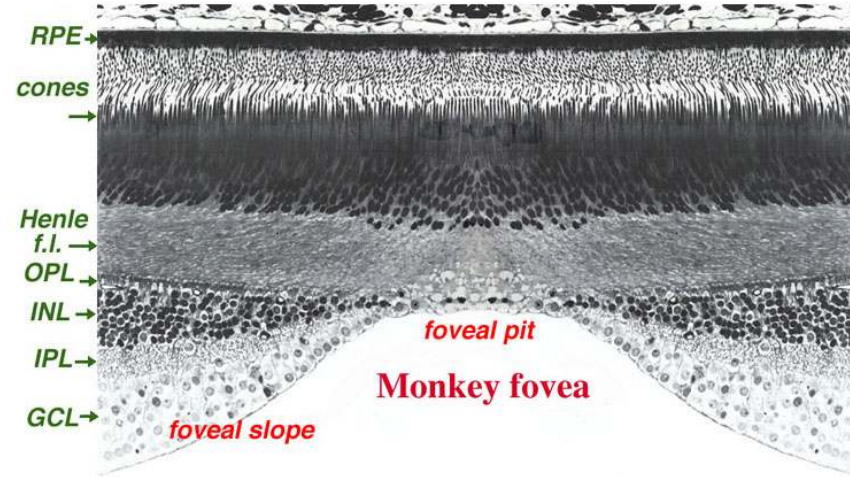


Fig. 12b. Vertical section of the monkey fovea from Hagerman and Johnson (1991).

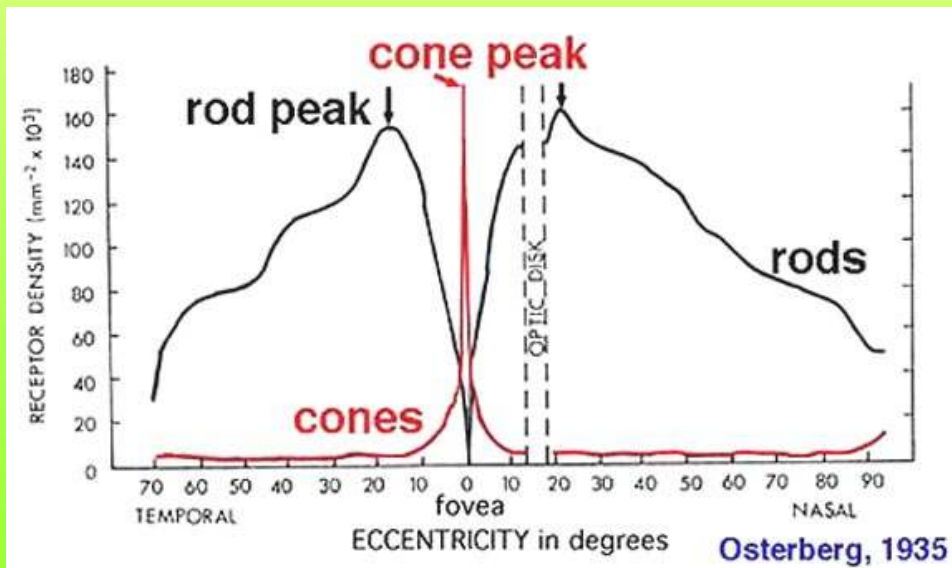


Fig. 20. Graph to show rod and cone densities along the horizontal meridian.

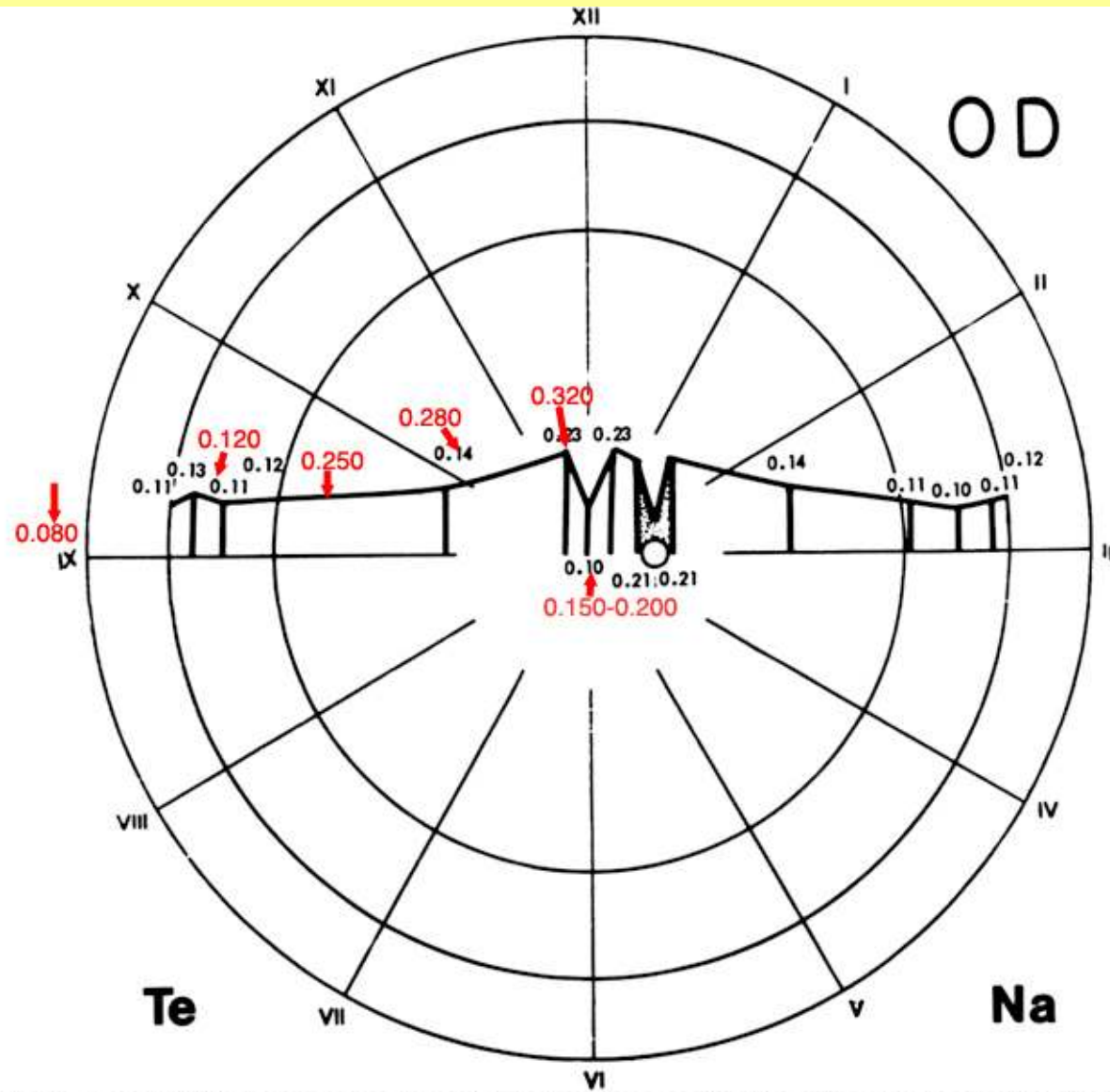


Fig. 3. The retinal thickness shows greatest variations in the center. The retina is thinnest at the foveal floor (0.10, 0.150-0.200 mm) and thickest (0.23, 0.320 mm) at the foveal rim. Beyond the fovea the retina rapidly thins until the equator. At the ora serrata the retina is thinnest of all (0.080 mm).

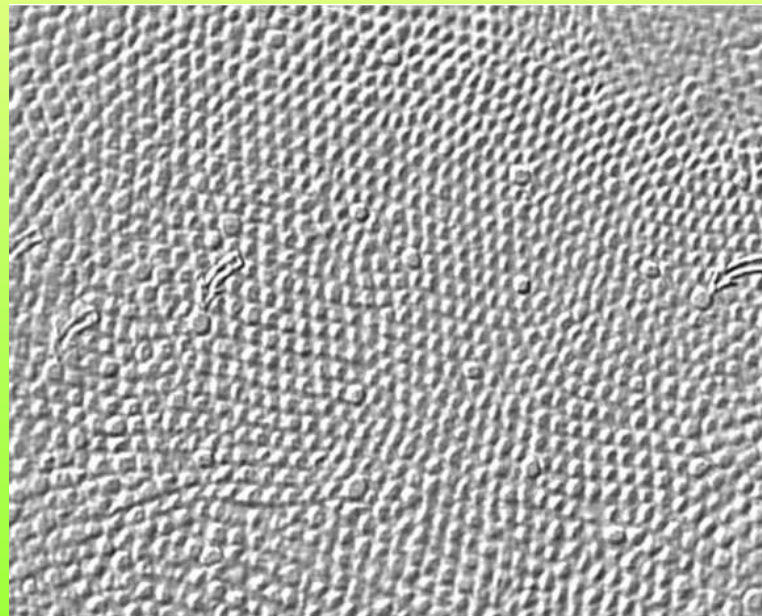
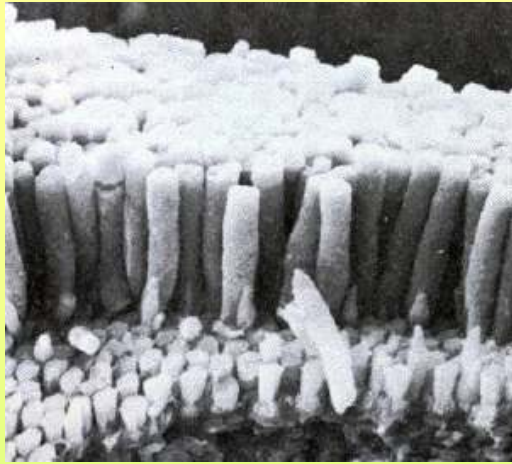


Fig. 13. Tangential section through the human fovea.
Larger cones (arrows) are blue cones.

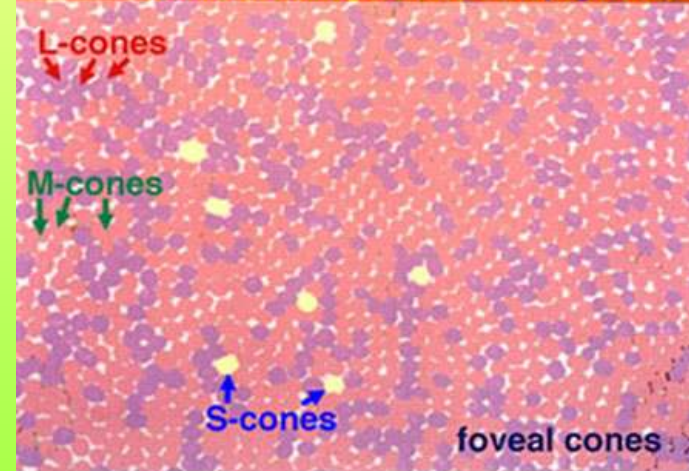
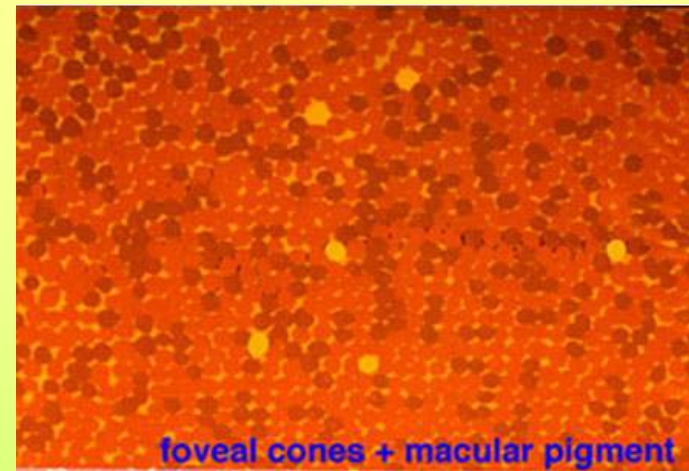


Fig. 16. Appearance of the cone mosaic in the fovea with and without the yellow macular pigment.

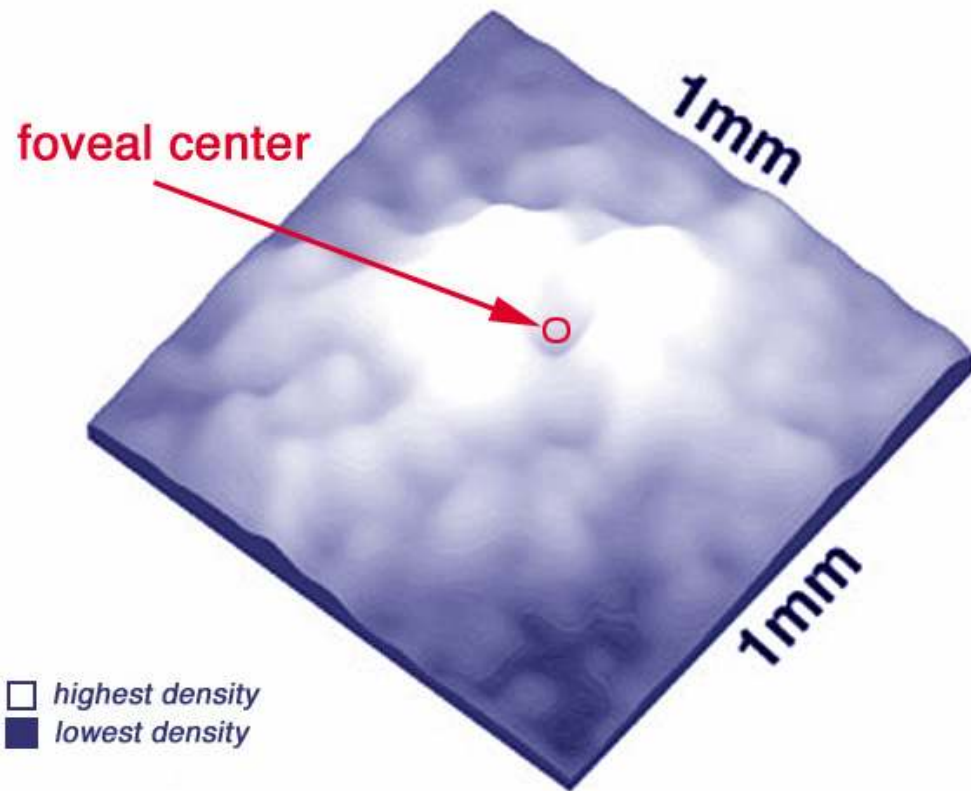


Fig. 2. 3D map of the blue or S-cone density around the foveal center. The peak density occurs on the foveal slope. From Ahnelt and Kolb, 2000.

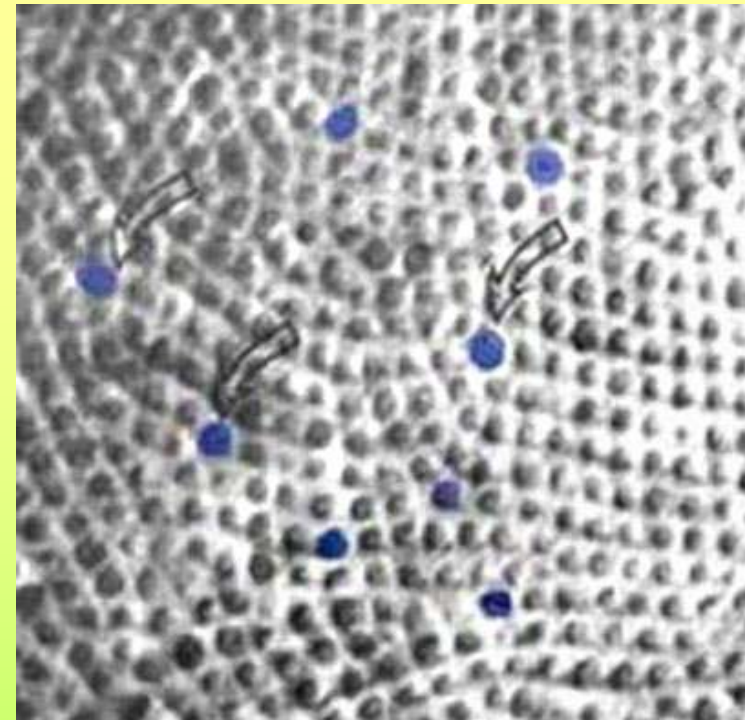


Fig. 1. Cone mosaic in the fovea where the S-wave or blue cones are evident by size and density differences. (arrows).

Ostrość widzenia

- **pojęcie jakościowe** - zdolność rozróżnienia wzrokiem obiektów znajdujących się bardzo blisko siebie.
- **pojęcie ilościowe** - odwrotność najmniejszej odległości kątowej (wyrażonej w minutach kątowych) pomiędzy dwoma rozpoznawalnymi wzrokiem testowanymi obiektami (np. punktami lub liniami).



Figure 1. The task of detection involves stating whether the spot or line is present. (a) Bright test object on a dark background. (b) Dark test object on a bright background.

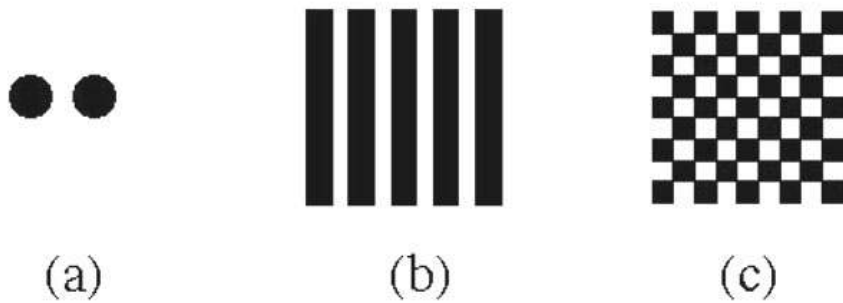


Figure 6. The task of resolution. (a) Double dot target. (b) Acuity grating. (c) Checkerboard.

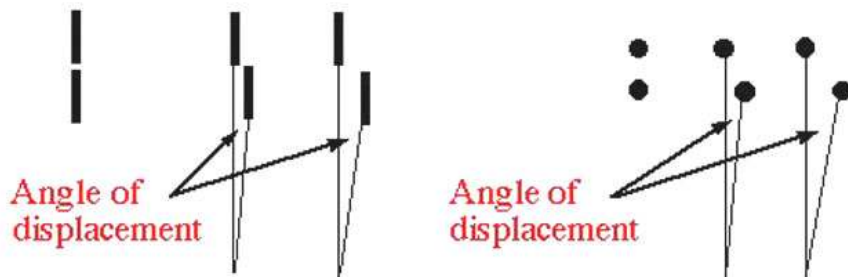


Figure 7. The task of localisation. The above is an example of Vernier acuity.

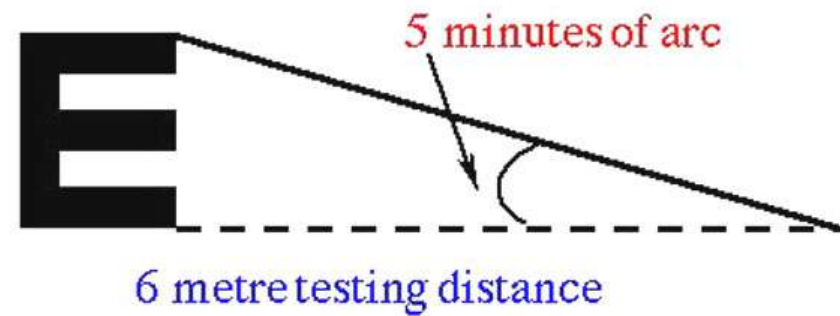


Figure 4. For a visual acuity of 6/6 (20/20), the whole letter subtends an angle of 5 minutes of arc at the eye, and is viewed at 6 metres (20 feet).

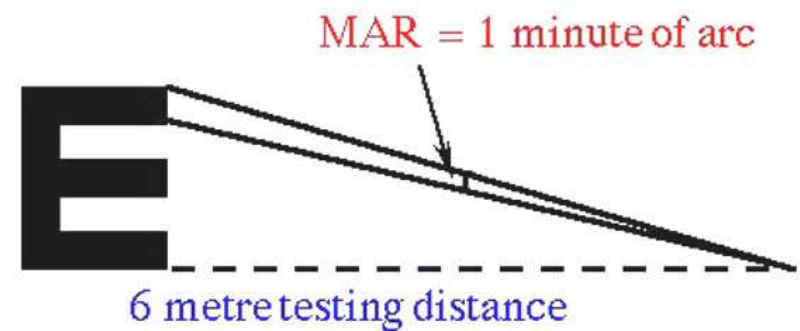


Figure 5. For a visual acuity of 6/6 (20/20), one of the strokes of the letter subtends one minute of arc at the eye. Therefore, the minimum angle of resolution (MAR) is one minute of arc and the logMAR is 0.

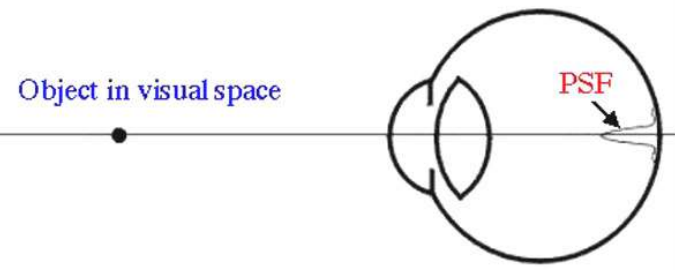


Figure 8. Image of a point at the back of the eye.

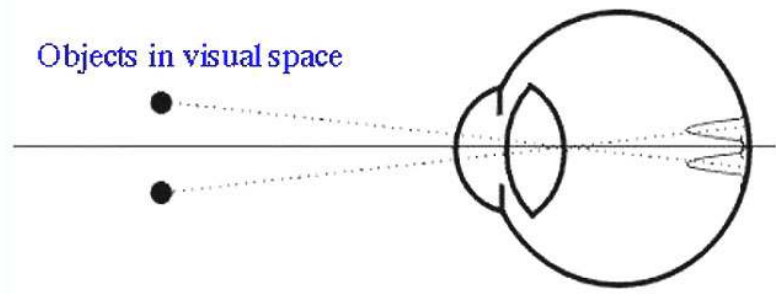


Figure 10. Two point sources and their point spread function at the back of the eye.

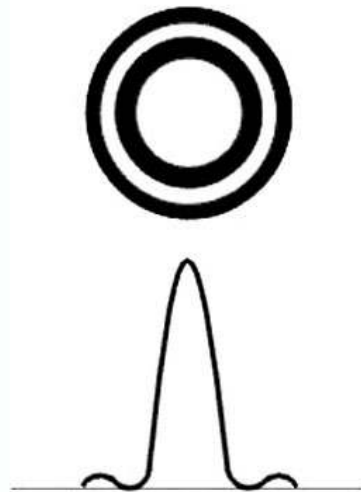


Figure 9. Point spread function (Airy disk pattern) of a point source. The upper component represents the perception of the light distribution when viewing an Airy disc (shown below).

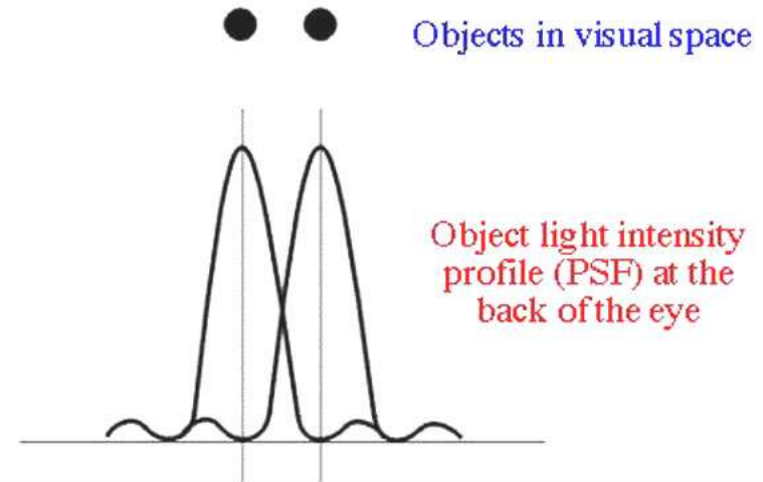


Figure 11. Rayleigh's criterion. The criterion states that two points or lines are just resolved if the peak of the point spread function lies on the first trough of the other point spread function.

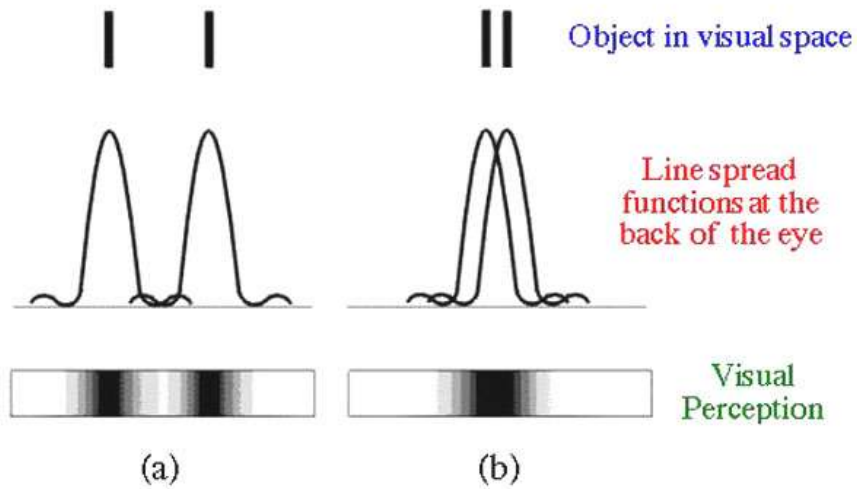


Figure 12. The representation between two lines, their line spread function and a person's perception of the two lines. (a) Two lines are resolved. (b) Two lines that cannot be resolved, and are perceived as one thick line.

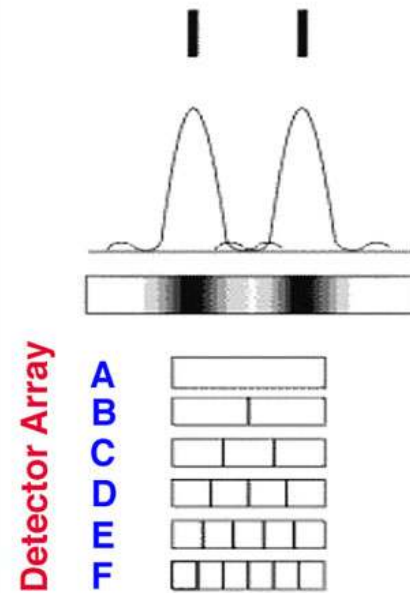


Figure 13. Two lines with their line spread function, person's perception of the two lines and various detector arrays. Only detector arrays C (3 detectors) through to F (6 detectors) have a fine enough detector density to resolve the two lines, i.e. detect the gap. Detector array A or B, that have one and two detectors, respectively, cannot signal a yes-no-yes response.

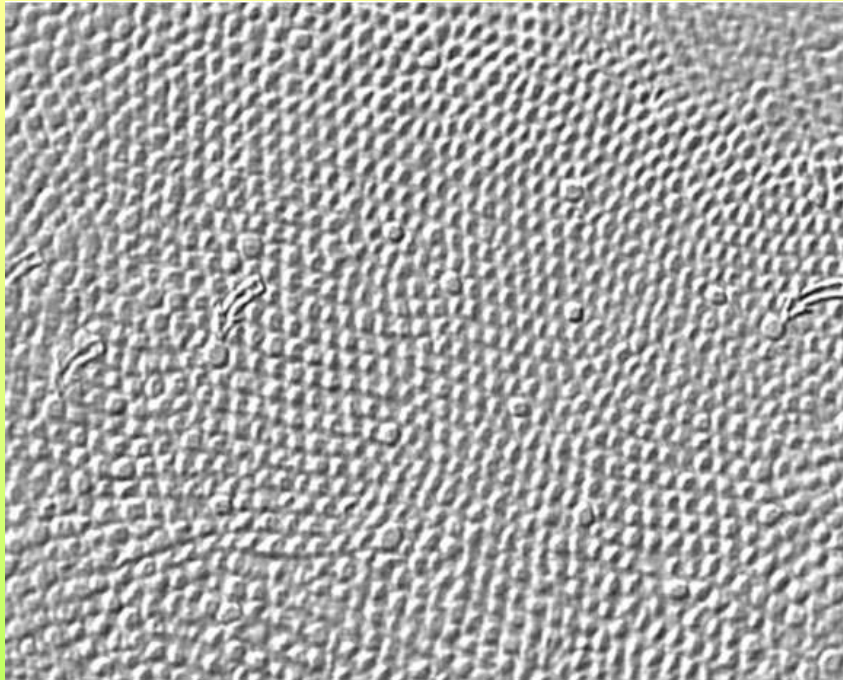


Fig. 13. Tangential section through the human fovea.
Larger cones (arrows) are blue cones.

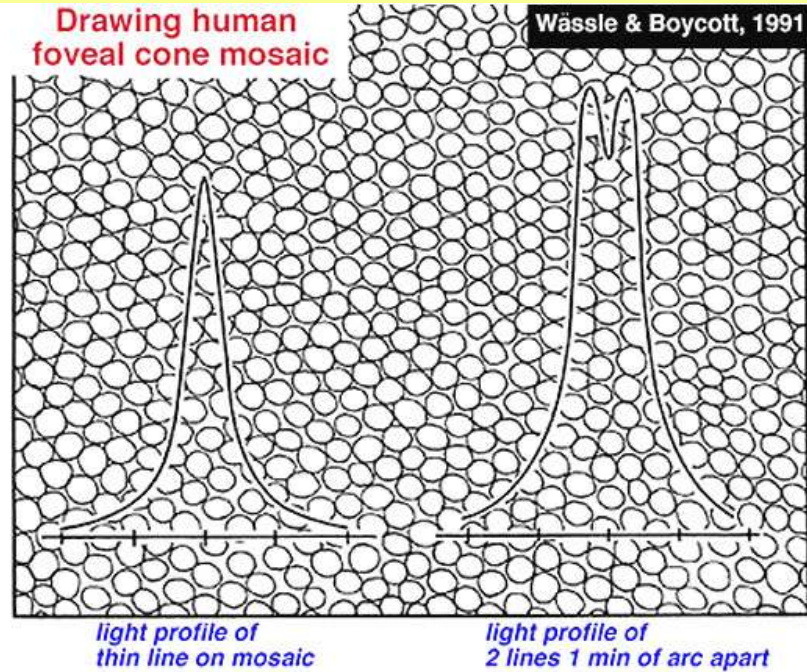


Fig. 3. Human foveal cone mosaic. Visual discrimination of 1 min of arc is about the center to center spacing ($3 \mu\text{m}$) of the cones of the central mosaic in the foveola.

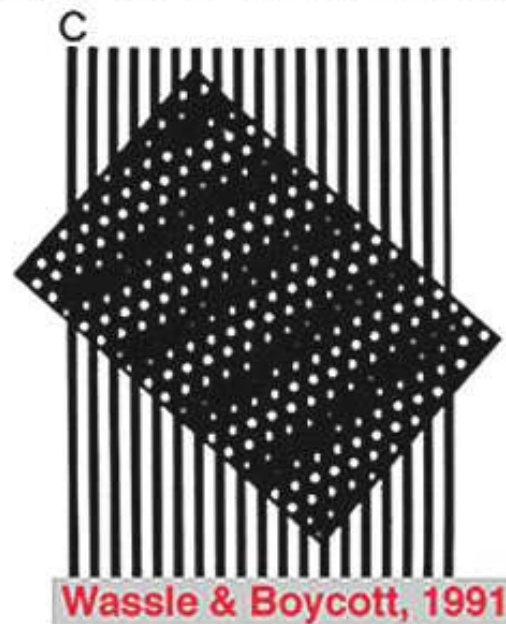
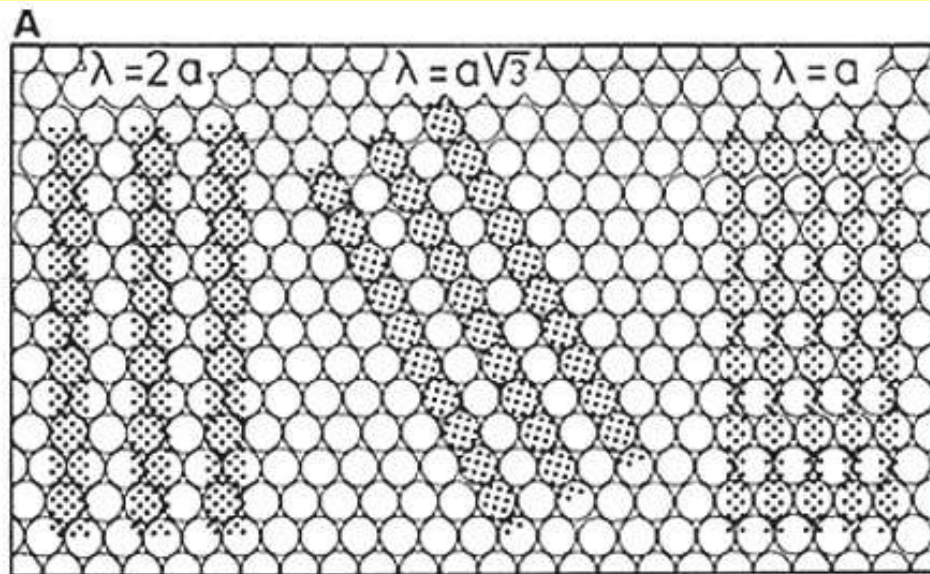


Fig. 4. The minimum center to center spacing of $3 \mu\text{m}$ for the cones of the fovea is the resolution limit, the Nyquist limit, is the square root of $3a$. If the resolution is not better than 1 min of arc and the size of, or even less than the diameter of each cone, i.e. a or $< a$ the spatial interference of the packed cones cause Moire effects or aliasing

Widzenie stereoskopowe

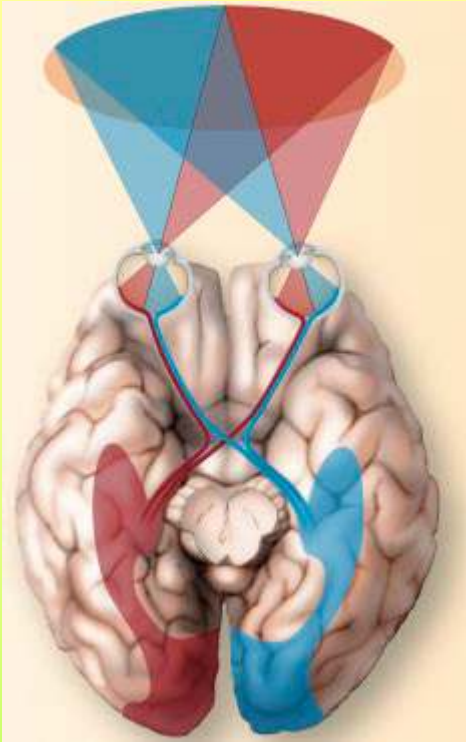
Człowiek ma oczy stereoskopowe, ułożone blisko siebie z przodu głowy. Każde z oczu odbiera minimalnie inny obraz, który scala się w ośrodku wzrokowym i dzięki temu umożliwia widzenie trójwymiarowo (przestrzennie), jednak tylko w pewnych odległościach.

System widzenia stereoskopowego nie może mieć reprezentacji obrazów nierozbieżnych, ponieważ kiedy mamy otwarte oboje oczu, nasza kora wzrokowa odnotowuje obrazy rozbieżne. Możliwe jest, że informacja o rozsunięciu nakłada się na pewien utrwalony model korespondencji pomiędzy grupami komórek obu siatkówek i zapewne tak właśnie jest. Pewna ustalona korespondencja pomiędzy obrazami na obu siatkówkach jest konieczna jako podstawa do mierzenia rozbieżności tych obrazów. Wydaje się więc, że aparat wzrokowy musi dysponować czymś w rodzaju wirtualnej odpowiedniości obrazów jednoocznych, wobec której mierzy przesunięcie.

Wiele badaczy dochodzi do wniosku, że potrzebne są dodatkowe mechanizmy wspierające stereoskopię (mechanizm widzenia głębi oparty na mierzeniu rozbieżności pomiędzy obrazami na siatkówkach). Wiadomo dziś z dużą pewnością, że poza stereoskopią istnieją jeszcze inne mechanizmy wykrywania głębi. Większość z nich służy do oceny stosunków przestrzennych między obiektami leżącymi w dalszej odległości od obserwatora. Do najważniejszych należy wykorzystywanie informacji o konwergencji oczu (istnienie kąta paralaktycznego), o deformacjach perspektywicznych (linie równoległe wydają się zbieżne), o nakładaniu się obrazów (obrazy bliższe przysłaniają dalsze) oraz o wielości obrazów na siatkówce (obraz obiektów dalszych jest mniejszy). Są również mechanizmy opierające się na informacjach o ruchu.

Informacja o trójwymiarowej przestrzeni osiągnana przez penetrację dzięki ruchom gałki ocznej i całego ciała stanowi integralną część procesu przetwarzania obrazu na siatkówce, prowadzącego do stereoskopii. Wizualna głębia jest więc wprawdzie wywiedziona z przekształcenia płaskiego obrazu na siatkówce, ale raczej samo to przekształcenie jest oparte na pierwotnie danej trójwymiarowej przestrzeni czuciowo-ruchowej.

Wiele wskazuje na to, że proces ustalania odpowiedniości, a zarazem rozbieżności pomiędzy obrazami na obu siatkówkach musi korzystać z niezależnej informacji o rzeczywistości.



Kąt widzenia 1° odzwierciedla się na siatkówce jako odcinek liniowy o długości $288 \mu\text{m}$.

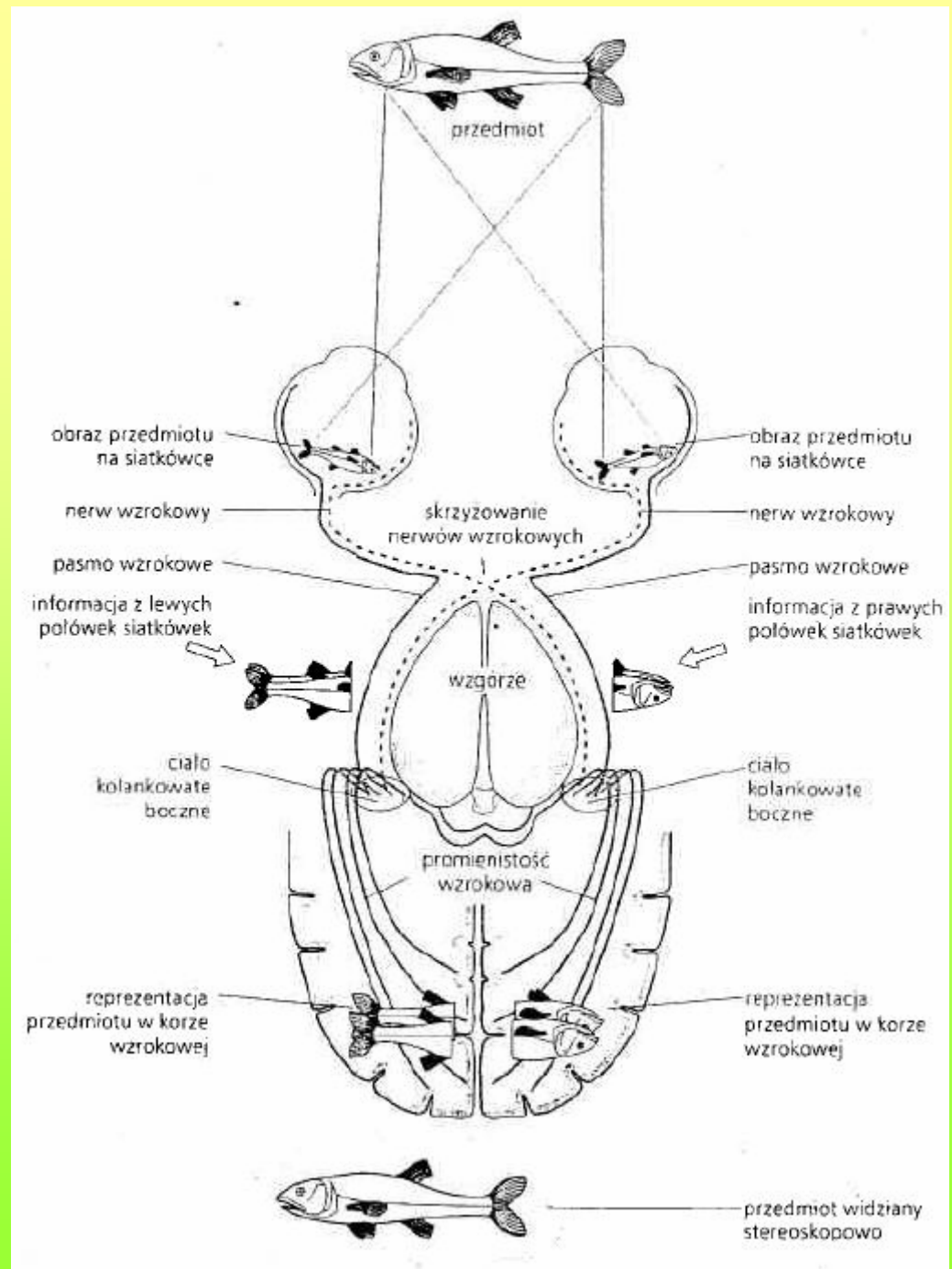
Zatem

$$1' = 4,8 \mu\text{m}$$

$$1'' = 0,08 \mu\text{m}$$

$$12'' = 0,96 \mu\text{m} \approx 1 \mu\text{m}$$

$$6'' = 0,48 \mu\text{m} \approx 0,5 \mu\text{m}$$



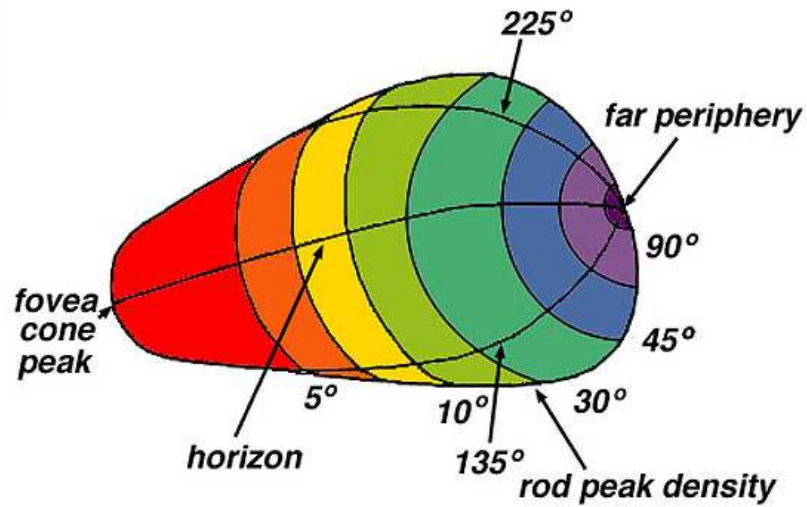
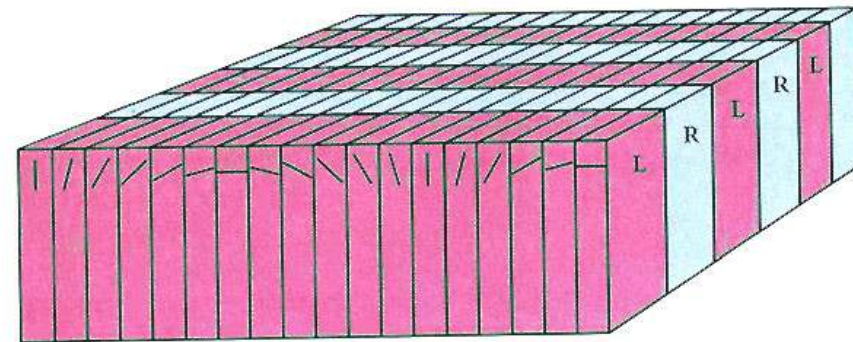
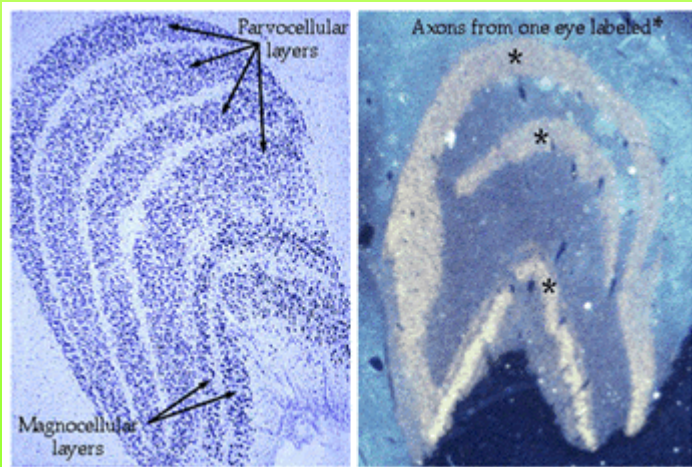


Figure 20. The unfolded striate cortex has a shape like a pear. It would be a quarter sphere if the visual fields were equally represented everywhere, but instead it is greatly distorted by the disproportionate representation of parts near the center of gaze (fovea), a feature termed "cortical magnification". In contrast, the far periphery is greatly underrepresented.



Orientation and ocular dominance columns

Figure 23. The ice-cube model of the cortex. It illustrates how the cortex is divided, at the same time, into two kinds of slabs, one set of ocular dominance (left and right) and one set for orientation. The model should not be taken literally: Neither set is as regular as this, and the orientation slabs especially are far from parallel or straight.

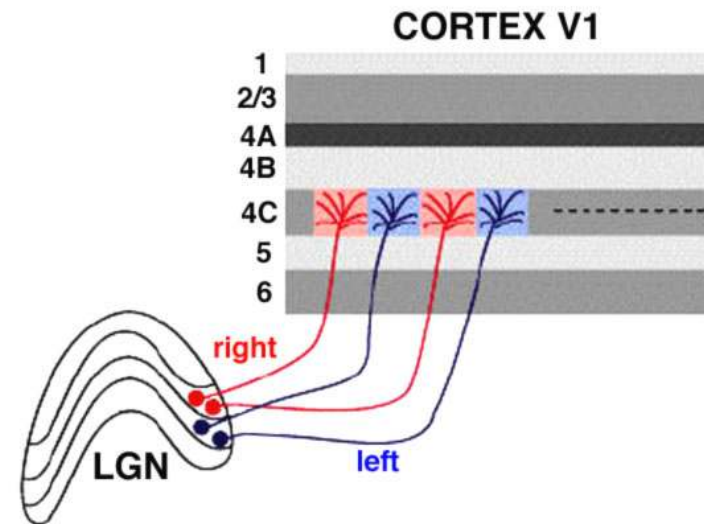


Figure 14. The signals from each eye are segregated within the LGN and go into different ocular dominance columns within area V1, layer 4C.

Problemy, jakie napotykamy chcąc wyjaśnić strukturę fenomenalną widzenia głębi i odpowiedzialne za nią mechanizmy biologiczne, pochodzą stąd, że tylko z pozoru chodzi tu o coś prostego: szacowanie odległości przedmiotów od własnego ciała i wzajemnie jednych od drugich. W istocie chodzi o niezmiernie skomplikowany system kontroli ruchu w przestrzeni i symulowanie tego ruchu w postaci pewnej wewnętrznej reprezentacji. Ponadto wśród własności przestrzennych wykrywanych wzrokiem są nie tylko odległości, lecz także wymiary, kształty i faktury powierzchni.

Ważne miejsce we wzrokowym postrzeganiu przestrzeni ma również przestrzenne umiejscowienie własnego ciała, które jest czymś pierwotniejszym od oceny odległości przedmiotów – trzeba je wszakże mierzyć do jakiegoś punktu, tymczasem nie sposób wskazać w ciele człowieka konkretnego punktu fizycznego, który służy mu jako punkt odniesienia w szacowaniu odległości dzielącej ciało tego człowieka od przedmiotów.

Widzenie głębi zakłada funkcjonowanie wielu mechanizmów o różnym stopniu automatyzacji. Niektóre z nich – jak ogniskowanie wzroku pozwalające szacować odległość – są po prostu wbudowane w działanie oka. Inne jednak dotyczą stosunkowo wysokiego poziomu przetwarzania informacji. Przez wysoki poziom przetwarzania rozumie się ustalanie informacji za pomocą innych informacji, które na najbardziej elementarnym poziomie są systemem różnic stanów komórek i grup komórek układu nerwowego odpowiedzialnego za widzenie.