



Model oka w akwariu

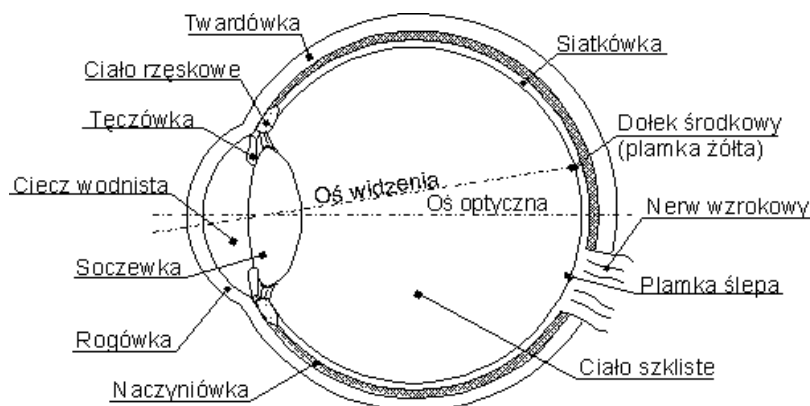
*Katarzyna Dziedzic-Kocurek
Zakład Fizyki Medycznej IFUJ*

O oku i jego wadach

Wady wzroku łączy się często z chorobami wieku starczego lub ich przyczyn szuka się w wadach wrodzonych. Wraz z postępem cywilizacyjnym technika stawia przed człowiekiem zadanie dostosowania się do swoich wymagań. Zmusza to oczy do przyglądania się przedmiotom z bardzo bliskiej odległości – wpatrywania się przez długi czas w ekran telewizora, monitor komputera, czytania gęsto drukowanych tekstów, funkcjonowania przy sztucznym oświetleniu. Jesteśmy społeczeństwem obrazkowym: obserwujemy i uczymy się świata „z bliskiej odległości”. Dla oczu to nienaturalny, ciągły, lecz konieczny wysiłek, by w pełni wykorzystać osiągnięcia nowoczesności. Ceną jest pogorszenie wzroku. Należy zdać sobie sprawę z faktu, że to właśnie zmysł wzroku jest najbardziej wykorzystywanym zmysłem spośród wszystkich zmysłów człowieka – szacuje się, że za jego pomocą człowiek odbiera ponad 80% bodźców docierających ze świata zewnętrznego. Wady wzroku powodują poważne upośledzenie funkcjonowania człowieka.

Za pomocą niżej opisanego modelu oka można zobrazować niektóre procesy fizyczne zachodzące w układzie optycznym ludzkiego oka, pokazać przyczyny wad oka oraz ich skutki. Jako źródło światła stosowana jest wiązka promieni laserowych, co umożliwia dokładną wizualizację procesów zachodzących w oku. Z fizycznego punktu widzenia każdy przezroczysty obszar z przestrzennym rozkładem współczynnika załamania stanowi szeroko pojęty układ optyczny. Jego zadaniem jest przekształcenie zbioru punktów przestrzeni przedmiotowej w zbiór punktów tworzących obraz, czyli przestrzeń obrazową.

Zacniemy od opisu anatomicznej budowy oka i zasady jego działania – przynajmniej w takim zakresie, w jakim jest to konieczne do opisu zbudowanego modelu. Układ optyczny oka (rys. 1) stanowią wszystkie jego przezroczyste ośrodki optyczne: **rogówka** (kształtem przypominająca wypukłe szkiełko od zegarka), **przednia komora** wypełniona cieczą wodnistą, **soczewka** – zawieszona między tęczęwką (zawierającą pigment, który stanowi o kolorze naszych oczu) a siatkówką; soczewka nie jest jednolita, lecz składa się z 3 środowisk: jeśli wyobrazimy sobie soczewkę jako owoc, to torebka jest jego skórka, kora jego miąższem, a jądro pestką, oraz **ciało szkliste** (galaretowata substancja, dostosowująca się kształtem do otoczenia).



Rys. 1. Schemat budowy oka ludzkiego

W układzie optycznym oka rozróżnia się trzy powierzchnie łamiące: przednią powierzchnię rogówki oraz przednią i tylną powierzchnię soczewki, co umożliwia regulację natężenia światła docierającego do siatkówki. Elementem najsilniej załamującym światło jest rogówka, na którą przypada 2/3 mocy optycznej całego układu. W prawidłowo widzącym oku obraz powstaje na siatkówce. Jest to swisty, bardzo czuły ekran naszego oka, którego elementy funkcjonalne stanowią komórki światłoczułe – czopki i pręciki. W każdym oku człowieka jest około 126 milionów światłoczułych receptorów, 120 milionów pręcików i 6 milionów czopków. Dla porównania liczba punktów na ekranie monitora komputerowego przy rozdzielczości 1024×768 wynosi zaledwie 786 tysięcy. Układ optyczny oka często przyrównuje się do aparatu fotograficznego: rolę soczewek obiektywu spełniają rogówka i soczewka, rolę przesłony – tęczówka, a warstwy światłoczułej kliszy – siatkówka. Warto też zwrócić uwagę na to, że źrenica jest „dziurą” w tęczówce, a zmiany jej wielkości powodują zwiększanie lub zmniejszanie dopływu światła, co umożliwia regulację natężenia światła docierającego do siatkówki (dlatego wieczorem nasze źrenice są duże). Niektóre aparaty robią zdjęcia, na których nasze oczy są czerwone, ponieważ przez okres błysku, kiedy źrenica dopiero zaczyna się kurczyć, oświetlana jest pierwsza nieprzezroczysta warstwa oka, którą jest po prostu ukrwiona siatkówka.

Niesamowicie ważną cechą stanowi **akomodacja**, która polega na zdolności przystosowania oka do ostrego widzenia z bliska. Jest to czynność mimowolna, polegająca na skurczu mięśni oka, powodującym zwiększenie się wypukłości (przede wszystkim przedniej) powierzchni soczewki. Dodatkowo przemieszczają się jeszcze środowiska wewnątrz soczewki. Ta cecha soczewki zmienia się z wie-

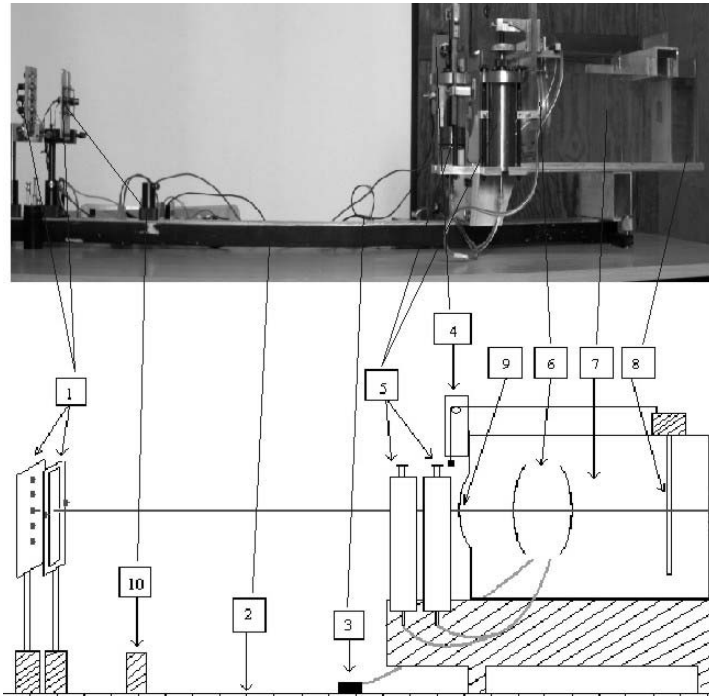
kiem. Wskutek twardnienia oraz zagęszczania struktury wewnętrznej soczewki (staje się „mętna”) akomodacja stopniowo maleje, co jest rzeczą naturalną, a nie chorobą oka. U dziecka 10-letniego akomodacja wynosi ponad 10 D (dioptrii), u osoby 40-letniej 4,0 D, po czym zanika całkowicie około 60.–70. roku życia. Dlatego też starsze osoby noszą tzw. okulary do czytania, ponieważ widzenie z bliska sprawia im kłopot.

Najczęściej spotykanymi wadami oka, tzw. wadami refrakcji, są: krótkowzroczność, nadwzroczność oraz astygmatyzm.

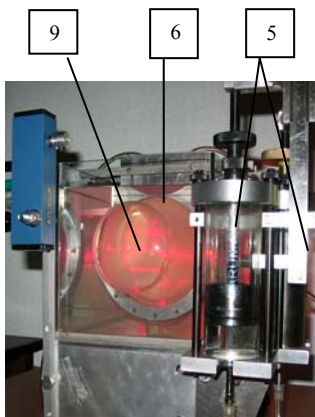
Krótkowzroczność (*miopia*, grec. mrużyć) jest takim stanem oka, w którym promienie ogniskowane są przed siatkówką, na „ekranie” oka powstaje zaś obraz rozmyty. Wada ta powstaje, kiedy krzywizny załamujące promienie są zbyt wypukłe lub gdy gałka oczna jest za duża (zbyt długa). Krótkowidze często mrużą oczy, poprawiając ostrość widzenia. **Nadwzroczność** (*hyperopia*) spowodowana jest z kolei zbyt krótką osią gałki ocznej. Należy tutaj wspomnieć o **starczewzroczności**, już wcześniej wspomnianej, która spowodowana jest utratą zdolności akomodacyjnej oka, co nie jest wadą. Zarówno nadwzroczność jak i starczowzroczność powodują, że promienie skupiają się za ogniskiem. Żeby dobrze widzieć obraz, dalekovidz odsuwa przedmiot od oczu.

Budowa i zasada działania modelu

Model oka, który pozwala zilustrować jego główne elementy oraz za pomocą którego można pokazać niektóre wady, przedstawiony jest na zdjęciu i na schemacie (rys. 2 i 3). Żeby dobrze wizualizować zjawiska, jakie zachodzą w oku, jako źródło światła jest stosowana wiązka utworzona z 5 laserów wskaźnikowych, które można umieścić w pozycji równoległej (jak element 1 na rys. 2) lub krzyżowej. Typowo lasery wskaźnikowe, takie jak do świecenia po tablicy, działają zbyt krótko, żeby mogły być zastosowane w modelu. Użyte zostały lasery typu TIM 201-1 (długość fali $\lambda = 650$ nm, moc $P \approx 1$ mW). Cały model umieszczony jest na ławie optycznej, co umożliwia precyzyjne ustawienie jego elementów. Rolę gałki ocznej spełnia akwarium wypełnione wodą, najlepiej destylowaną (nie ma w niej „bąbelków” powietrza), a w celu lepszego zobrazowania biegu promieni laserowych do wody należy dodać odrobinę białej farby akrylowej. Promienie lasera rozpraszają się wtedy na jej drobinach i są dużo lepiej widoczne. W charakterze rogówki zastosowane jest szkieleto zegarkowe, przyklejone do przedniej szyby akwarium.



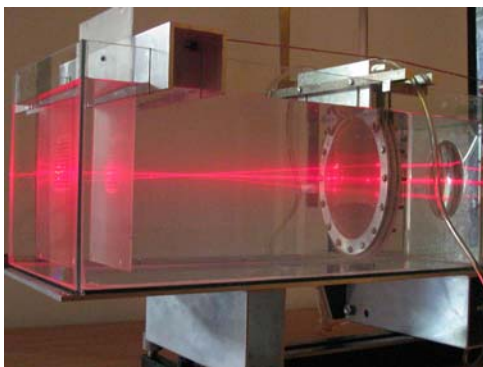
Rys. 2. Model oka – zdjęcie i schemat



Rys. 3. Część czołowej modelu

- Opis rys. 2 i 3
- 1 – źródło wiązki promieni laserowych,
 - 2 – łoża optyczna,
 - 3 – czujnik ciśnienia,
 - 4 – potencjometr,
 - 5 – dozowniki gliceryny,
 - 6 – modelowana „soczewka”,
 - 7 – „gałka oczna” akwarium,
 - 8 – „siatkówka” ekran,
 - 9 – modelowana „rogówka”,
 - 10 – dodatkowy uchwyt

Najważniejszą część tego modelu stanowi soczewka o zmiennej ogniskowej. Zmienność jej parametrów (rys. 5a, 5b, 5c) można uzyskiwać, wtlaczając lub wypompowując z niej, za pomocą dwóch dozowników, glicerynę. W ten sposób można zobrazować, jak powstają wady wzroku wynikające z nieodpowiednich rozmiarów soczewki (rys. 6a, 6b), co zostało wyżej opisane. Jeżeli w prawidłowym oku promienie są ogniskowane na ekranie, to w oku krótkowidza są one



Rys. 4. Modelowanie krótkowzroczności

ogniskowane przed ekranem (siatkówką) (rys. 4), natomiast w oku dalekowidza za ekranem. Modelowa „siatkówka” to zmatowiona płytka pleksi, przymocowana do metalowego suwaka, który umożliwia jej precyzyjne ustawienie. Na płytce jest przyklejona folia z naniesioną siatką, co ułatwia analizę obserwowanej wiązki.



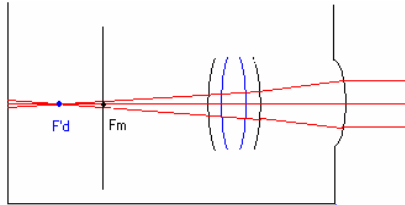
Rys. 5a. Wypełnienie soczewki przy modelowanej skrajnej nadwzroczności



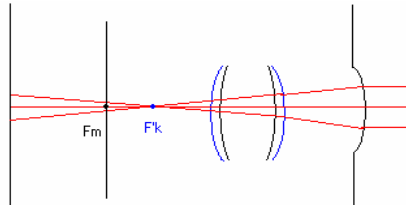
Rys. 5b. Wypełnienie soczewki przy modelowanym stanie oka miarowego



Rys. 5c. Wypełnienie soczewki przy modelowanej skrajnej krótkowzroczności



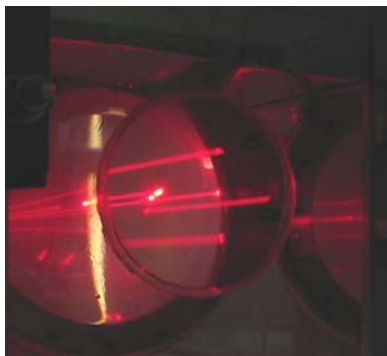
Rys. 6a. Schemat przedstawiający modelowanie dalekowzroczności



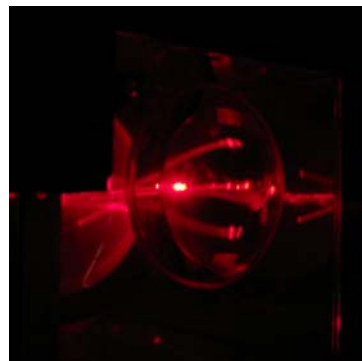
Rys. 6b. Schemat przedstawiający modelowanie krótkowzroczności

F_m – ognisko dla oka miarowego
 F_d – ognisko dla oka dalekowidza
 F_k – ognisko dla oka krótkowidza

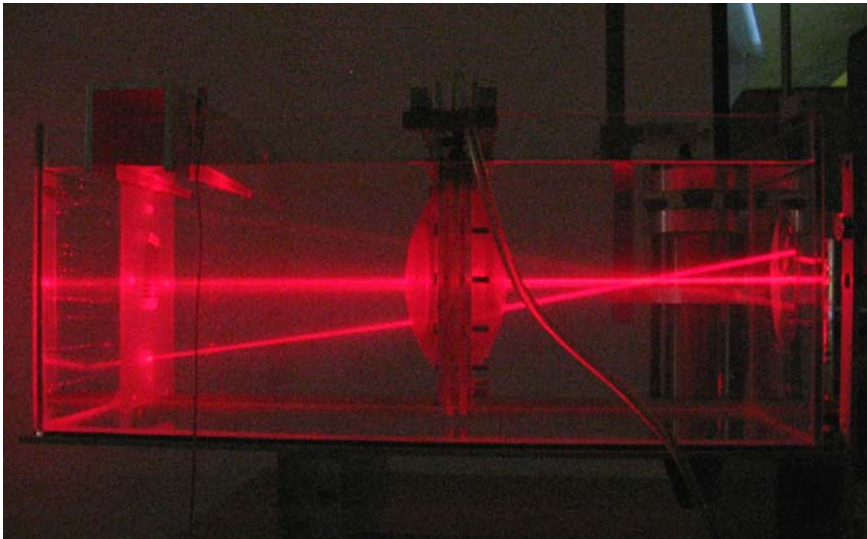
W zbudowanym modelu można też pokazać, jak widzi oko astygmatyka, którego wada wynika z niesferycznego kształtu rogówki. Po nałożeniu dodatkowej soczewki na zewnętrzną powierzchnię rogówki, która ma kształt bardziej elipsoidalny niż sferyczny (przypominający kształt jajka kurzego; rys. 7a, 7b), można zaobserwować, że promienie lasera po przejściu przez taki układ skupiają się w dwóch różnych miejscach. Oko nie widzi ostro, bo promienie skupiane są w kilku ogniskach (rys. 8a i 8b).



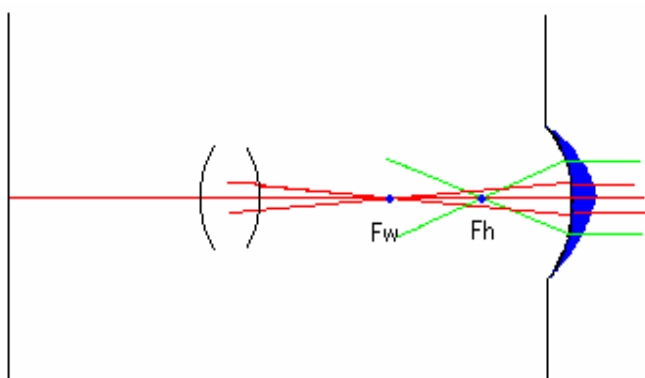
Rys. 7a. Bieg promieni lasera przez „zdrową rogówkę”



Rys. 7b. Zniekształcenie wiązki promieni laserowych na „rogówce” z soczewką nasadkową



Rys. 8a. Modelowanie astygmatyzmu



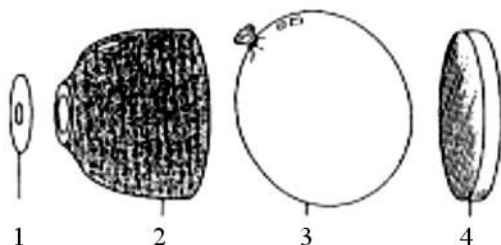
Rys. 8b. Schemat obrazowania astygmatyzmu w modelu

Jeżeli w dodatkowym uchwycie umieścimy oświetlacz (lampkę, w której umieszczamy przesłonę na szybce), w którym znajduje się czarna przesłona z przezroczystą cyfrą „1”, i jest on jedynym źródłem światła, to zobaczymy, że na ekranie powstaje oczywiście obraz odwrócony. Tak samo dzieje się na siatkówce oka ludzkiego. Interpretacja powstającego obrazu stanowi zadanie mózgu, który uczy się tego w początkowych miesiącach życia człowieka.

Modelowane „oko” posiada jeszcze kilka innych elementów, za pomocą których można wykonać doświadczenie pomiarowe, np. pomiar zdolności skupiającej oraz ogniskowej „rogówki”, określanie aberracji sferycznej układu „rogówka” – „soczewka”, wyznaczanie zdolności skupiającej całego układu. W układzie dodatkowo można korzystać z potencjometru i czujnika ciśnienia, sprzężonych z programem komputerowym IP-COACH.

Budowa prostego modelu oka

Oto jeden z takich modeli, autorstwa Iana Jacoba z Nowej Zelandii.



Rys. 9. Elementy „balonikowego” oka

Do zbudowania takiego modelu potrzebne są:

1. okrągły karton z wyciętym otworem (tęczówka ze źrenicą).
2. górna część butelki plastikowej pomalowana (oklejona) na czarno (przednia część gałki ocznej),
3. przezroczysty balonik napełniony wodą (soczewka),
4. matowy ekran (siatkówka), np. przezroczysty talerzyk plastikowy, zmatowany papierem ściernym,

Balonik dociska się do wnętrza butelki. Część worka wybrzusza się na zewnątrz i stanowi soczewkę. Zmieniając ciśnienie, zmienia się ogniskową soczewki i ostrość obrazu.

Oczywiście powstaje obraz odwrócony.