

Rozdział 4

ELEMENTY OPTYKI FIZJOLOGICZNEJ

Większość układów optycznych jest projektowana przy założeniu, że będą one w sposób bezpośredni (przrzędy wizualne) lub pośredni (przrzędy projekcyjne i fotograficzne) przekształcały lub rejestrowały pewne informacje dla człowieka, który jest końcowym elementem ich oceny. Stąd szczególna rola, jaką spełnia układ wizualny człowieka wśród innych odbiorników opisanych w p. 2.7.3.

Układ wizualny człowieka nie ogranicza się tylko do samego oka. Informacja, która dociera do świadomości człowieka zależy również od procesu jaki zachodzi między receptorami fali elektromagnetycznej i ośrodkami widzenia mózgu. Zagadnieniami przenoszenia informacji przez układ nerwowy zajmuje się psychofizjologia [1]. Tu rozważania zostaną ograniczone tylko do opisu właściwości oka jako układu optycznego i podania pewnych faktów będących ostatecznym rezultatem współdziałania wspomnianego układu, elementów światłoczułych i układu nerwowego.

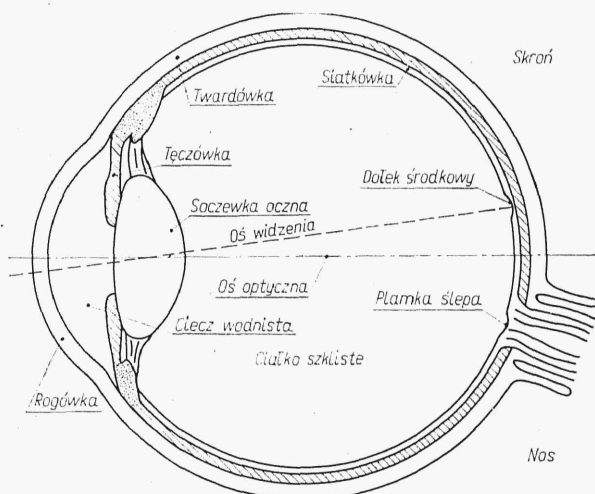
Przytoczone w dalszej części wartości liczbowe są wartościami uśrednionymi z większej liczby przebadanych przypadków. Dla konkretnej osoby różnice mogą występować nie tylko w stosunku do podanej średniej, ale nawet między jednym i drugim okiem. Poza tym, z uwagi na wpływ całego organizmu na proces widzenia, pewne parametry pod działaniem bodźców fizycznych, psychicznych lub procesów biologicznych (starzenie się) będą podlegały chwilowym lub stałym zmianom.

4.1. Budowa oka

Oko ma w przybliżeniu kształt kuli o średnicy 24 mm, wypełnionej w większości bezpostaciową substancją (ciałkiem szklistym), znajdującej się pod ciśnieniem pozwalającym na utrzymanie jego kształtu.

Przekrój poziomy oka pokazano na rys. 4.1. Najogólniej pod względem optycznym oko można przyrównać do aparatu fotograficznego, przy czym rolę warstwy światłoczułej spełnia tu siatkówka przylegająca do wewnętrznej strony ścianki gałki ocznej, na zewnątrz zakończonej białą i prawie nieprzezroczystą twardówką. W przedniej części oka twardówka przechodzi w przepuszczającą światło w zakresie widzialnym rogówkę, która łącz-

Przez zmianę kształtu soczewki ocznej zmienia się moc układu i położenie ogniska obrazowego względem siatkówki, dzięki czemu można ogniskować na niej obrazy punktów znajdujących się w różnych odległo-



Rys. 4.1

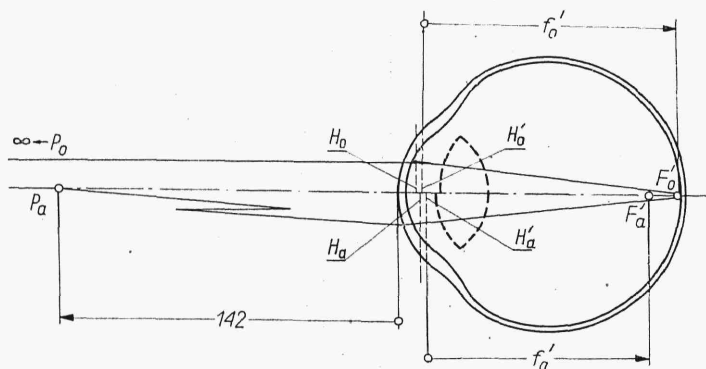
W tablicy 4.1 przytoczone są wielkości charakterystyczne układu optycznego oka za *Yves le Grandem* [2], dla oka miarowego nieakomodują-

Tablica 4.1. Niektóre optyczne parametry dla oka teoretycznego

Parametr	Oko	
	nieakomodujące	akomodujące
Odgległości:		
— płaszczyzny głównej, przedmiotowej	1,6	1,8
obrazowej	1,9	2,2
— punktu węzłowego przedmiotowego	7,2	6,8
obrazowego	7,5	7,2
— ogniska obrazowego	24,2	21,9
— źrenicy wejściowej	3,0	2,7
— ogniskowa obrazowa	22,3	19,7
przedmiotowa	-16,7	-14,8
Współczynnik załamania przestrzeni obrazo- wej (ciałka szklстого)	1,336	1,336
Moce układu optycznego oka	59,9	67,7
— rogówki	42,2	42,2
— soczewki ocznej	21,8	30,7
Promień zewnętrznej powierzchni rogówki	7,8	7,8

cego i akomodującego na przedmiot leżący w odległości 142 mm. Wymiary podano w mm, moc w 1/m, odległości są mierzone od wierzchołka rogówki.

Na rys. 4.2 pokazano rozmieszczenie niektórych elementów charakterystycznych dla oka nieakomodującego w przekroju nad osią (oznaczenia z indeksem o), natomiast dla akomodującego pod osią (oznaczenia z indeksem a). Powierzchnie soczewki ocznej zaznaczone są liniami przerywanymi.



Rys. 4.2

Przylegająca do soczewki ocznej tęczęwka spełnia rolę przysłony aperturowej. Pod wpływem bodźców świetlnych odbieranych przez siatkówkę ma ona zdolność kurczenia się, dzięki czemu zmieniana jest średnica źrenicy wejściowej układu w granicach od 8 mm w ciemności do 2 mm przy intensywnym oświetleniu.

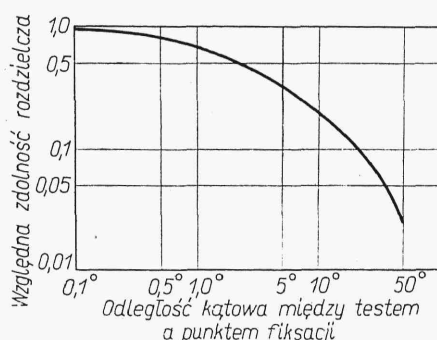
Układ optyczny oka można z pewnym przybliżeniem uważać za centryczny. Zbiór środków krzywizn powierzchni rogówki i soczewki leży na prostej zwanej *osią optyczną oka*, która jednak nie jest osią widzenia oka.

Siatkówka jako odbiornik padającego nań promieniowania elektromagnetycznego zbudowane jest z dwóch rodzajów komórek światłoczułych: czopków i pręcików połączonych za pomocą nerwów z mózgiem. Czopki o względnie niskiej czułości przeznaczone są do obserwacji przy świetle dziennym. Ich maksymalne zagęszczenie występuje w dołku środkowym odległym około 1,5 mm od osi optycznej w stronę skroni. Następstwem tego jest również najwyższa zdolność rozróżnienia szczegółów przez obserwatora w momencie, gdy obraz przedmiotu znajduje się w tym obszarze. Wraz ze wzrostem odległości obrazu od dołka, na skutek zmiany zagęszczenia czopków, szybko maleją możliwości analizujące oka, czego ilustracją jest wykres 4.3 wykonany w skali logarytmicznej. Kąt odniesiony jest do przestrzeni przedmiotowej i mierzony ze środka źrenicy wejściowej. Dla kąta 10° pięciokrotnie obniża się zdolność rozdzielczą oka w porównaniu z jej maksymalną wartością.

Skupiając uwagę na konkretnym punkcie przedmiotu, nazywanym *punktem fiksacji*, obserwator podświadomie zwraca obie gałki oczne tak, aby obraz wspomnianego punktu znalazł się jednocześnie w środku obszarów o najwyższej zdolności rozdzielczej jednego i drugiego oka. Jeżeli przedmiot jest powierzchnią, wówczas dokonywana jest jego wizualna analiza za pomocą zwrotu gałek ocznych i obrotu głowy. Peryferyjne

części siatkówki dają ogólnie tylko informację o obecności przedmiotu w polu widzenia.

Rezultatem przesunięcia dołka środkowego poza oś optyczną jest rozbieżność między osią optyczną, a osią główną widzenia przechodzącą przez punkt fiksacji i środek żrenicy wejściowej. Kąt między nimi wynosi średnio 5° .



Rys. 4.3

Fakt ten dla oka nieuzbrojonego ma tylko znaczenie teoretyczne. Oś główna widzenia, łatwa zresztą do wyznaczenia, jest najważniejszym elementem odniesienia w procesie widzenia i dlatego zwykle utożsamia się ją z osią optyczną, przyjmując, że układ optyczny oka ma obrotową oś symetrii. W tym sensie należy rozumieć dane przytoczone w tabl. 4.1.

Przy widzeniu nocnym, kiedy czułość czopków jest niewystarczająca nawet przy maksymalnej średnicy żrenicy, rolę odbiorników fali elektromagnetycznej przejmują pręciki, które zabezpieczone są przed nadmiarem światła przy widzeniu dziennym za pomocą wydzielanego barwnika. Proces jego pochłaniania i wydzielania nie jest natychmiastowy, co jest przyczyną zjawiska olśnienia przy przechodzeniu z pomieszczenia zaciemnionego do oświetlonego. Z tej samej przyczyny, jeżeli obserwator jest przystosowany do widzenia dziennego, przechodząc do warunków obserwacji nocnej stopniowo uzyskuje możliwości dostrzegania przedmiotów. Proces przystosowania się do warunków oświetlenia nazywa się *adaptacją*.

Pręciki znajdują się tylko poza dołkiem środkowym i największe ich zagęszczenie występuje na odległości kątowej 15° od jego środka. Stąd widzenie nocne jest widzeniem peryferyjnym.

W miejscu gdzie połączenia nerwowe elementów światłoczułych z mózgiem tworzą wspólny nerw wzrokowy powstaje *plamka ślepa* pozbawiona zupełnie czopków i pręcików. Przedmiot znajdujący się na odległości nieco poniżej 15° od punktu fiksacji po stronie skroni przy widzeniu jednoocznym nie zostanie zauważony przez obserwatora.

4.2. Wady refrakcji

Punkt przestrzeni przedmiotowej, który jest sprzężony z siatkówką przy zwolnionym napięciu mięśni odkształcających soczewkę oczną, nazywany jest *punktem dali D*, natomiast — przy maksymalnym wysiłku akomodującym — *punktem bliży B*. Między tymi dwoma punktami oko jest w stanie odwzorować ostro na siatkówce każdy punkt P (rys. 4.4). Od-