

## 1. PRZESTRZENNOŚĆ WIDZENIA

Otoczający nas świat nie jest płaski, lecz przestrzenny - trójwymiarowy. Przedmioty znajdują się bliżej lub dalej od nas, mają powierzchnie wypukłe lub wklęsłe. Zmysł wzroku powinien umożliwić oceniać kształty przestrzenne, kierunki i odległości, a w konsekwencji *widzenie przestrzenne*. Podstawowymi czynnikami umożliwiającymi takie widzenie są:

- 1) perspektywa, czyli różnice rozmiarów kątowych przedmiotów dalszych i bliższych,
- 2) zasłanianie przedmiotów dalszych przez bliższe,
- 3) cienie widoczne na przedmiotach przestrzennych powiększające plastykę obrazu,
- 4) zamglenie przedmiotów dalej położonych wynikające z niedoskonałej przezroczystości powietrza,
- 5) pozorna różnica prędkości, z jaką przesuwały się przedmioty dalekie i bliskie,
- 6) nieostrość przedmiotów położonych dalej lub bliżej niż odległość, na jaką zaakomodowane jest oko,
- 7) wielkość napięcia akomodacyjnego,
- 8) zbieżność osi oczu (kąt konwergencji),
- 9) stereoskopia, czyli różnica obrazów siatkówkowych powstających w lewym i prawym oku.

Z punktu widzenia optyki najbardziej interesujące są trzy ostatnie z wymienionych czynników, a mianowicie: *akomodacja*, *konwergencja* i *stereoskopia*. Akomodacja to efekt określany, jako „jednooczny”, występujący dla każdego oka odrębnie. Konwergencja i stereoskopia to „efekty dwuoczne” - zaangażowanych jest w nie oboje oczu (nie jest, więc przypadkiem, że człowiek ma dwoje oczu). Stereoskopia jest efektem związanym z procesem widzenia; - odpowiadają za niego wyższe ośrodki nerwowe. Akomodacja i konwergencja to efekty zachodzące „na poziomie” oka. Są one ze sobą związane

Przy założeniu, że oboje oczu nie wykazuje zmian patologicznych na ogół rozróżnia się następujące stopnie widzenia obuocznego:

### 1. Widzenie jednooczne

Widzenie jednooczne występuje wtedy, gdy wrażenie pochodzące z jednego oka jest w ośrodku wzrokowym zupełnie tłumione. Stan taki nazywamy *ekskluzją*.

Jego przyczyna tkwi w sprzeczności obu jednoocznych wrażeń wzrokowych, które albo z powodu ustawienia zezowego oczu są względem siebie zbyt mocno przesunięte, albo różnią się wielkością i kształtem. W rezultacie połączenie obu obrazów nie jest możliwe.

Stan *ekskluzji* (wyłączenia) jest nieodwracalny.

Lżejsze przypadki noszą nazwę *supresji* (tłumienia).

Stan *supresji* może przez odpowiednie postępowanie korekcyjne zostać zniesiony.

### 2. Widzenie naprzemienne

Widzenie naprzemienne jest konsekwencją naprzemiennego tłumienia. Występuje ono zwykle w zezach naprzemiennych, w oku w danej chwili zezującym, a znika, gdy oko staje się prowadzące. To, które z oczu w danej chwili przejmuje prowadzenie, może też zależeć od zadania wzrokowego.

Np. w przypadku jednoocznej nieskorygowanej krótkowzroczności oko krótkowzroczne przejmuje prowadzenie przy patrzeniu z bliska, a drugie przy patrzeniu w dal.

### 3. Jednoczesna percepcja

Jest to zdolność spostrzegania jednocześnie dwóch różnych obrazów, z których jeden tworzy się na siatkówce prawego oka, a drugi na siatkówce lewego oka.

Jednoczesna percepcja (bez fuzji!) polega na tym, że oboje oczu widzą jednocześnie, jednak ich wrażenia nie łączą się ze sobą.

Przykładem stanu jednoczesnej percepcji bez fuzji jest także dwojenie (diplopia) występujące w zezie porażennym. U dorosłych ta patologiczna forma dwojenia utrzymuje się. Natomiast u dzieci z czasem przechodzi w widzenie naprzemienne lub jednooczne.

### 4. Fuzja

Jest to połączenie obu wrażeń jednoocznych we wspólny obraz obuoczny. Fuzja zachodzi wtedy, gdy pobudzone są korespondujące miejsca siatkówek. Dla opisu tego złożonego procesu wprowadzono dwa jego komponenty: fuzję motoryczną i fuzję sensoryczną. Fuzja motoryczna to ruch gałek ocznych, którego celem jest doprowadzenie do pokrycia się w dwuocznym polu widzenia nadających się do fuzji (a więc dostatecznie równych) obrazów. Jeżeli ten cel zostanie osiągnięty, to przynależne danemu przedmiotowi obrazy siatkówkowe leżą na korespondujących miejscach siatkówek. Natomiast fuzja sensoryczna jest procesem, który oba w przybliżeniu nakładające się obrazy w obuocznym polu widzenia łączy w jedno wrażenie wzrokowe. Zatem fuzja sensoryczna bez dodatkowego ruchu oczu prowadzi do pojedynczego obuocznego widzenia.

### 5. Stereopsja

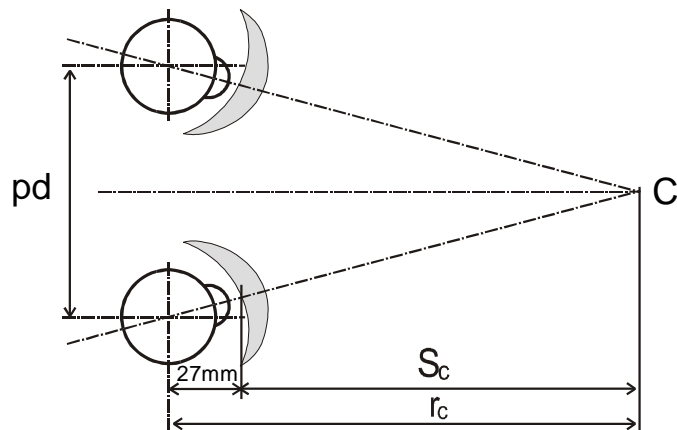
Jest to najwyższy stopień widzenia obuocznego. Stereopsja (widzenie stereoskopowe) jest to zdolność postrzegania głębi i jest wywołana przez fuzję dwóch obrazów utworzonych na nieznacznie dysparatnych miejscach siatkówek. Dzięki stereopsji powstaje obuoczne przestrzenne wrażenie, "które znacznie przewyższa jednooczną zdolność widzenia przestrzennego.

Stopnie 1-3, a więc widzenie jednooczne, widzenie naprzemienne i jednoczesna percepcja (bez fuzji) są cechami stanu nieprawidłowego, a poprawa przez korekcję optyczną nie zawsze jest możliwa. Para oczu, która osiąga stopień 4, czyli fuzję, jednak bez zdolności widzenia stereoskopowego, wykazuje także zaburzenia widzenia obuocznego.

Nawet osiągnięcie stopnia 5 (stereopsji) nie świadczy jeszcze o idealnym, niezaburzonym widzeniu obuocznym. W stereoskopowym postrzeganiu występują, bowiem znaczne różnice, a często słabą stereopsję można poprawić przez odpowiednie postępowanie korekcyjne.

## 2. KONWERCENCJA

Konwergencję określamy, jako zbieżność osi oczu wywołana obserwacją przedmiotów bliskich (punkt C)



i określamy wzorem

$$K = \frac{\frac{pd \text{ [mm]}}{10 \text{ [mm/cm]}}}{r_C} = \frac{pd}{10 \cdot r_C} \text{ [cm/m czyli dptr pryzm]}$$

Przykład 1

Obliczyć potrzebną konwergencję u osoby z  $pd = 60$  mm obserwującej punkt C z odległości 40 cm.

$$K_1 = \frac{60}{10 \cdot 0,4} = \frac{60}{4} = 15 \text{ [dptr pryzm]}$$

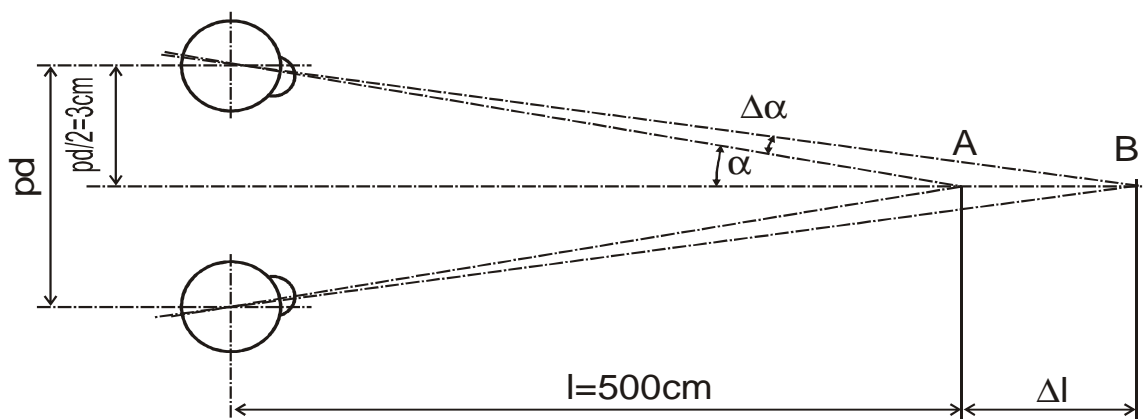
Przykład 2

Obliczyć potrzebną konwergencję u osoby z  $pd = 68$  mm obserwującej punkt C z odległości 40 cm.

$$K_2 = \frac{68}{10 \cdot 0,4} = \frac{68}{4} = 17 \text{ [dptr pryzm]}$$

Przykład 3

Obliczmy kąt zbieżności oczu przy patrzeniu na punkt A odległy o 5 metrów u osoby, która ma odległość źrenic 60 mm



$$\text{tg } \alpha = \frac{Pd/2}{l} = \frac{3}{500} = 0.006$$

W tym przypadku kąt  $\alpha = \text{arctg } \alpha = 0,343770551^\circ$  tj. około  $20'$

Założmy, że punkt A znajduje się tak blisko punktu B, że zmiana kąta konwergencji wynosi tylko

$$\Delta\alpha = 10'' = 0,002777^\circ$$

wtedy konwergencja oczu patrzących na punkt B będzie trochę mniejsza i wyniesie

$$\alpha - \Delta\alpha = 0,343770551^\circ - 0,002777^\circ = 0,340993551^\circ, \text{ zaś } \text{tg}(\alpha - \Delta\alpha) = 0,00595153$$

z rysunku widać że  $\text{tg} = \frac{Pd/2}{l + \Delta l}$  stąd  $l + \Delta l = \frac{Pd/2}{\text{tg}(\alpha - \Delta\alpha)} = \frac{3 \text{ [cm]}}{0,00595153} = 504 \text{ [cm]}$

Z tych rozważań wynika, że przy zmianie kąta konwergencji o  $10''$ , uznawanym przez wielu autorów za graniczny kąt widzenia stereoskopowego w odległości 5 metrów zauważyć można głębię, gdy różnica odległości dwóch przedmiotów jest większa niż 4 cm.

Amplituda akomodacji określona jest wzorem

$$A = R - \frac{1}{S_B} = \frac{1}{S_D} - \frac{1}{S_B}$$

Gdzie

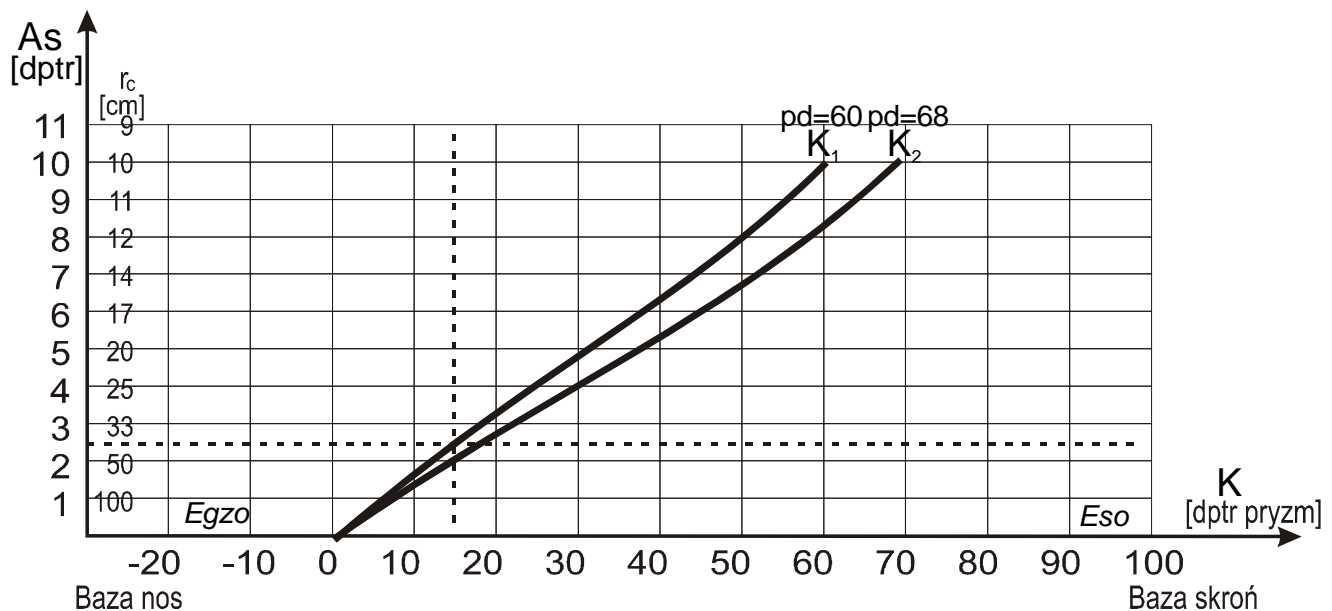
A- amplituda akomodacji [dptr]

$S_D$ - odległość punktu dalekiego [m]

$S_B$ - odległość punktu bliskiego [m]

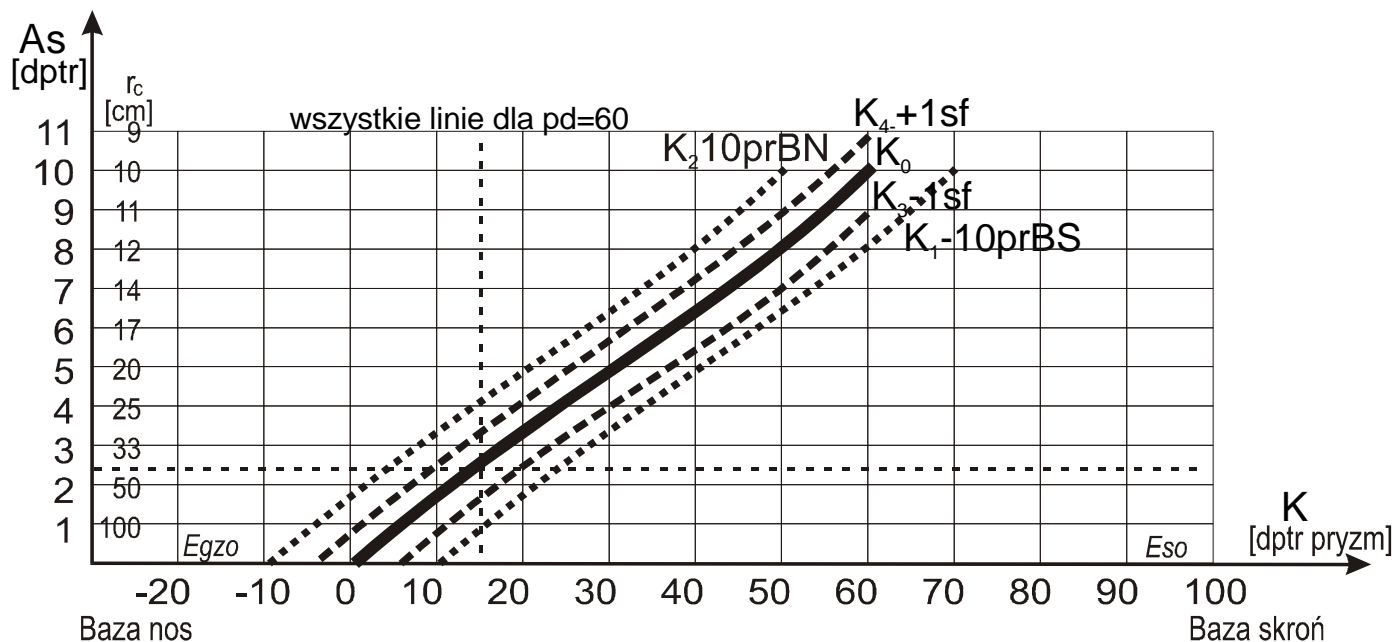
R- refrakcja do dali [dptr]

Na wykresie pokazano zależność akomodacji i konwergencji w zależności od odległości obserwowanego przedmiotu dla powyższych przykładów. Trzeba jednak pamiętać, że  $A_s$  nie jest akomodacją, (którą trudno mierzyć), lecz bodźcem do akomodacji, który u jednych może być wystarczający, a innym trzeba pomóc np. dodatkową soczewką skupiającą



Aby obserwować obrazy z bliska potrzeba uruchomić zarówno akomodację jak i konwergencję. To włączenie obu mechanizmów jednocześnie, w czasie wieloletniej praktyki wbudowało, bardzo silne sprzężenie między nimi.

Może się zdarzyć, że aby uzyskać widzenie obuoczne przy występującej heteroforii potrzeba dodatkowej mocy pryzmatycznej. Na rysunku poniżej pokazano przesunięcie krzywej  $K_0$  przy dołożeniu dodatkowych soczewek 1-pryzmatu o mocy 10 dptr przyzmy bazą do skroni, 2- pryzmatu o mocy 10 dptr przyzmy bazą do nosa, 3-soczewki sferycznej -1,0 dptr, 4- soczewki sferycznej +1,0.



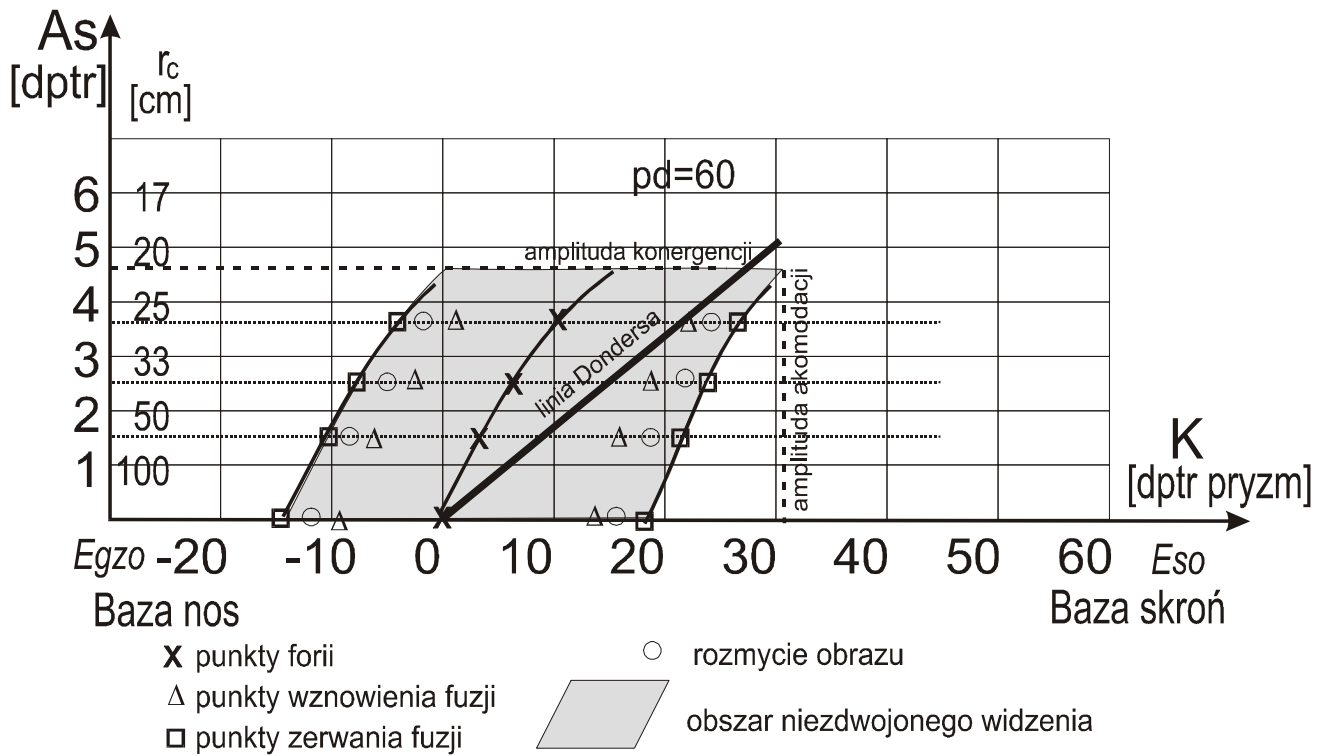
Stosunek konwergencji akomodacyjnej do akomodacji nazywany jest ułamkiem ACA.

$$ACA = \frac{K_a \text{ [dptr przyzm]}}{A \text{ [dptr]}}$$

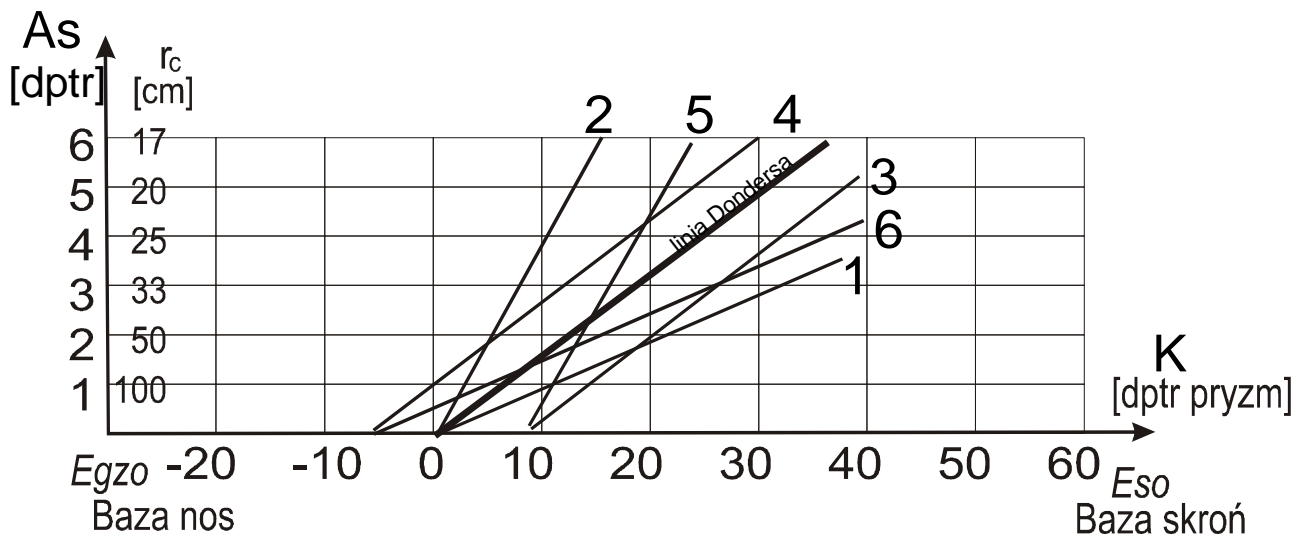
Jeszcze w roku 1864 Donders określił ten ułamek dla zdrowych oczu na 6 dptr przyzm/dptr. W pierwszym przykładzie podanym powyżej ułamek ACA wynosi  $15 : 2,5 = 6$  a w drugim  $17 : 2,5 = 6,8$ .

Poniżej przedstawiono wyniki pomiaru konwergencji u jednego pacjenta.

Odległość obserwacji	Foria [dptr przyzm]	Dodatkowy pryzmat bazą			
		do nosa		do skroni	
		zerwanie fuzji	wznowienie fuzji	zerwanie fuzji	wznowienie fuzji
5 m	0 orto	15	11	18	14
70 cm	4 egzo	11	7	22	18
40 cm	7 egzo	8	5	24	21
30 cm	11 egzo	4	2	26	23



Przykłady badania punktów forii u różnych osób:



Linia	Foria do dali	Foria do bliży	ACA	Uwagi
1.	Ortoforia lub prawie ortoforia	Duża esoforia	>6	Nadmierna konwergencja
2.	Ortoforia lub prawie ortoforia	Duża egzoforia	<6	Niedostateczna konwergencja
3.	Duża esoforia	Duża esoforia	~6	Esoforia do dali i bliży
4.	Duża egzoforia	Duża egzoforia	~6	Egzoforia do dali i bliży
5.	Duża esoforia	Niewielka egzoforia lub ortoforia	<6	Niedostateczna dywergencja
6.	Duża egzoforia	Niewielka esoforia lub ortoforia	>6	Nadmierna dywergencja

## DYSOCJACJA OBRAZÓW PODCZAS BADANIA KONWERCENCJI

- 1) Przegroda (test TNO\*, skrzydło Madox'a)
- 2) Filtry barwne (test Schobera'a, Worth'a\*, Figury i filmy 3D\*)
- 3) Filtry polaryzacyjne (test anizeikonii, cyklopegii, widzenia stereoskopowego\*, równowagi obu oczu)
- 4) Szkiełko Madox'a (krzyż Madox'a)
- 5) Szkiełko Bagoliniego
- 6) Pryzmaty (pionowe)

\*) dysocjacja przy obecności bodźca do fuzji - występuje element wspólny

### DEFINICJE:

**Foria**- ustawienie osi oczu kompensowane przez napięcie mięśni (zmienia się, gdy nie ma bodźca do fuzji)

**Tropia**- trwałe ustawienia osi oczu, niezależnie do obecności bodźca do fuzji.

**Ortoforia**- prawidłowe ustawienie osi oczu: równoległe do dali lub zbieżnie do punktu fiksacji w obecności bodźca do fuzji

**Ortotropia**- prawidłowe ustawienie osi oczu: równoległe do dali lub zbieżnie do punktu fiksacji również przy braku obecności bodźca do fuzji

**Egzoforia** (Exoforia) - osie oczu ustawione rozbieżnie do dali lub za mało zbieżnie do p. fiksacji

**Esoforia** (Ezoforia) - osie oczu ustawione zbieżnie do dali lub zbyt zbieżnie do p. fiksacji

**Heteroforia** (zez ukryty) nieprawidłowe ustawienie osi oczu: nie równoległe do dali lub nie zbieżnie do punktu fiksacji ujawnione przy braku obecności bodźca do fuzji

**Heterotropia** (zez właściwy) nieprawidłowe ustawienie osi oczu: nie równoległe do dali lub nie zbieżnie do punktu fiksacji również przy braku obecności bodźca do fuzji

	równoległe	nierównoległe			
		zbieżnie	rozbieżnie	OP wyżej niż OL	OP niżej niż OL
Forie (Przy bodźcu do fuzji)	Ortoforia	Heteroforia			
		Esoforia	Egzoforia	Hiperforia	Hipoforia
Tropie (Bez bodźca do fuzji)	Ortotropia	Heterotropia			
		Esotropia	Egzotropia	Hipertropia	Hipotropia