

(25)

Fizjologiczne podstawy badania ostrości wzroku

Physiological basis of visual acuity measurement

Małgorzata Figurska, Marek Rękas

Z Kliniki Okulistycznej Wojskowego Instytutu Medycznego
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Andrzej Stankiewicz

Summary: The paper presents information about types of acuity tasks, visual acuity limitations and contrast sensitivity function. Measurements of resolution acuity may be interpreted as estimates of spatial density of the mosaic of photoreceptors and ganglion cells of the living human eye. Physiological basis such as Raleigh's criteria, sampling theory and filtering theory of visual resolution are described.

Słowa kluczowe: typy tablic do badania ostrości wzroku, czynniki ograniczające ostrość wzroku, kryterium Raleigh'a, sampling theory /ang./ rozdzielczość widzenia, teoria filtracji, mozaika fotoreceptorów, sumowanie przestrzenne, czułość kontrastu.

Key words: types of acuity tasks, visual acuity limitations, Raleigh's criteria, sampling theory of visual resolution, filtering theory of visual resolution, dimension of the retinal mosaic, spatial summation, contrast sensitivity.

Ostrość wzroku jest miarą zdolności układu wzrokowego do rozróżniania szczegółów w przestrzeni. W zależności od rodzaju użytego optotypu można badać różne jej aspekty. W układzie optycznym oka ostrość wzroku ograniczana jest przez dyfrakcję, aberrację oraz stan siatkówki (12), a wady refrakcji, luminacja tła, kontrast bodźca, obszar pobudzonej siatkówki mają wpływ na wyniki jej pomiarów.

Tablice do badania ostrości wzroku

Na najprostszych tablicach znajduje się jasny znaczek w kształcie kropki lub paska na ciemnym tle lub ciemny znaczek na jasnym tle. Miarą ostrości wzroku badanej w ten sposób jest najmniejszy kąt, przy którym optotypy rozpoznawane są jako oddzielne elementy, np.: pary kropek, linii, kraty szachownicy. Prawidłowe zlokalizowanie obiektu wymaga postrzegania różnic w przestrzennym położeniu jego segmentów, a także ciągłości czy załamania konturów. Ostrość wzroku określana na podstawie tych kryteriów zwana jest **ostrością Verniera**, a przemieszczenie segmentów optotypu mierzymy w stopniach kątowych.

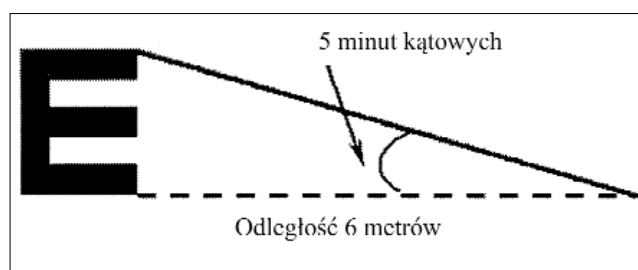
Innymi tablicami zawierającymi nieskomplikowane optotypy są testy Landolt C i Illiterate E (14). Podczas badania pacjent określa lokalizację luki w literze C lub położenie litery E. Badając ostrość wzroku u dzieci, możemy posłużyć się białym sześcianiem z czarnymi literami E o zmiennej wielkości, narysowanymi na jego ściankach. Poprzez przewracanie sześciangu litera E jest prezentowana w 4 różnych pozycjach opisywanych przez badanego. Sześciang umieszczamy w różnych odległościach, co w połączeniu ze zmienną wielkością liter pozwala określić ostrość wzroku. W niektórych testach stosowane są obrazki lub symbole. Bardzo popularny jest obrazkowy test Allena, opierający się na prezentowaniu znanych z codziennego życia przedmiotów, zwierząt. Inne urządzenie –

B-VAT vision tester – aby uniknąć zapamiętywania, pokazuje sekwencje znaków lub figur (14).

W praktyce najbardziej rozpowszechnione są tablice wg Snellena. Litery Snellena są tak zaprojektowane, że najmniejszy szczegół (grubość litery lub przerwa w literze) stanowi 1/5 jej wysokości. Ostrość wzroku badanego z użyciem tych tablic określa się na podstawie najmniejszych rozpoznawanych przez niego optotypów. Ostrość wzroku wg Snellena zdefiniowana jest przez równanie:

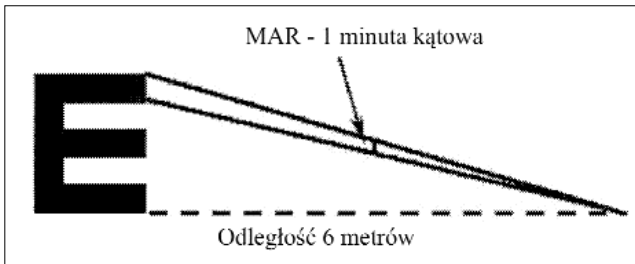
$$VA = D'/D,$$

gdzie D' oznacza standardową odległość od tablicy, D – odległość, z której optotyp widziany jest pod kątem 5 minut kątowych, a każdy jego element pod kątem 1 minuty (ryc. 1). Dla ostrości wzroku 6/6 cały optotyp widziany jest pod kątem 5 minut z odległości 6 metrów. Innym sposobem przedstawiania not jest kąt, pod którym badany rozróżnia poszczególne elementy optotypu. Nazywany jest on minimalnym kątem rozdzielczości (**MAR**), a tablice buduje się na podstawie wartości logarytmu dziesiątego tego kąta (ryc. 2). Tablica tego typu różni się pod kilkoma względami od tablicy Snellena. Zawiera optotypy o jednakowej trudności rozpoznawania, w każdej linii znajduje się taka sama ich liczba, a odstępy

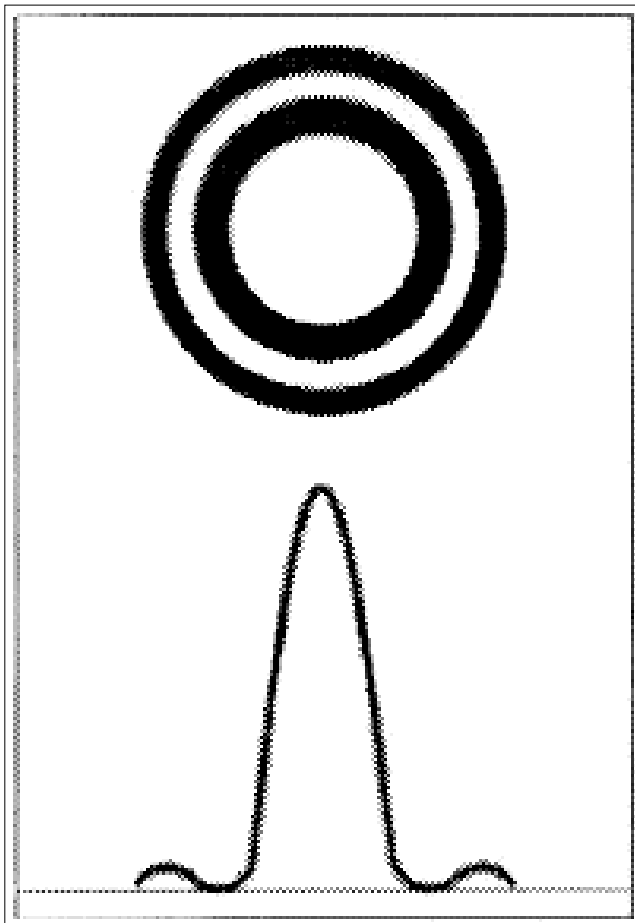


Ryc. 1. Ostrość wzroku wg tablic Snellena.

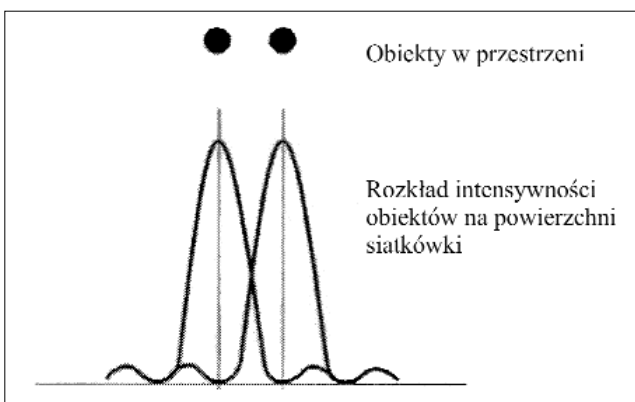
Fig. 1. Snellen visual acuity.



Ryc. 2. Minimalny kąt rozdzielczości.
Fig. 2. Minimum angle of resolution.



Ryc. 3. Funkcja rozproszenia punktu (PSF) i zjawisko dyfrakcji.
Fig. 3. Object light intensity profile (PSF) at the back of the eye and diffraction.



Ryc. 4. Kryterium Raleigh'a.
Fig. 4. Raleigh's criterion.

między nimi są proporcjonalne do ich wielkości. Dzięki tym różnicom badanie ostrości wzroku jest bardziej specyficzne niż badanie z zastosowaniem tablic Snellena (14).

Czynniki ograniczające ostrość widzenia

Obraz punktowego źródła światła na siatkówce opisywany jest przez **funkcję rozproszenia punktu (PSF)**. Funkcja rozproszenia punktowego źródła światła uwzględnia niedoskonałości układu optycznego oka. Z powodu dyfrakcji punktowe źródło światła przyjmuje postać podwójnego krążka (ryc. 3). Promień kątowy pierwszego pierścienia określa wzór:

$$a = 1,22 \ l/d,$$

gdzie l – długości światła, d – szerokości źrenicy, a – promień wyrażony w jednostkach kątowych. Dwa punktowe źródła światła mogą być więc postrzegane jako oddzielne, jeżeli spełniają **kryterium Raleigh'a**. Kryterium to stosuje się do określenia rozdzielczości siatkówki. Zgodnie z nim dwa punkty postrzegane są jako osobne, jeżeli szczyt funkcji rozproszenia jednego znajdzie się w pierwszym zagłębieniu funkcji rozproszenia sąsiedniego (ryc. 4). Jeżeli dwa obiekty są w odstępnie mniejszym od granicznego, postrzega się je jako jednolity bodziec. Aby dwa punkty były rozdzielone, ich kątowa separacja αs musi być zgodna ze wzorem:

$$\alpha s = 1,22 \ l/d.$$

Struktura siatkówkowej mozaiki fotoreceptorów

Innym oprócz dyfrakcji ograniczeniem ostrości wzroku zgodnym z kryterium Raleigh'a jest struktura mozaiki czopków, zwłaszcza w zakresie dwóch stopni od punktu fiksacji (6).

Wg Helmholtza bodziec jest postrzegany, jeżeli rząd niepobudzonych czopków oddziela rzędy pobudzonych. Aby dwie linie były widziane jako oddzielne, rozmieszczenie fotoreceptorów, czyli detektorów siatkówki, musi być wystarczające do postrzegania przerwy między nimi. Ta sama zasada odnosi się do wzorca w postaci sinusoidy, gdzie rozmieszczenie receptorów musi być wystarczające do postrzegania odstępów między liniami lub kratami. Paski kraty przedstawionej w postaci wzorca sinusoidalnego zmieniają swoje kształty łagodnie, w przeciwieństwie do pasków kraty opisanej jako fala czworokątna (ryc. 5).

Ponad wiek temu Bergmann i Helmholtz położyli fundamenty pod **sampling theory** (ang.) – teorię rozdzielczości widzenia. Ich założenia odnosiły się do dwóch rozdzielnych źródeł światła, mogą jednak dotyczyć pojedynczych pasków sinusoidalnego wzorca. Ze stymulowaniem w postaci częstotliwości przestrzennej łączy się reguła, że na pojedynczy cykl musi przypadać jeden pasek jasny i jeden ciemny, wówczas są one postrzegane jako osobne. Układ widzenia, przewodząc pobudzenia, wywołuje określony wzorec odpowiedzi neuronalnej.

Sampling theory, której twórcami są Whittaker i Shannon (5), zakłada istnienie trzech stopni gęstości upakowania receptorów:

1. **oversampled** (ang.) – na pasek wzorca przypada więcej niż jeden pobudzony receptor,
2. **critically sampled** (ang.) – krytyczne upakowanie – pobudzone receptory znajdują się dokładnie w odległości wystarczającej, aby częstotliwość przestrzenna wynosiła dwa paski na cykl,
3. **undersampled** (ang.) – receptory są w zbyt dużej odległości od siebie, co powoduje powstawanie fałszywego efektu siatkówkowego; brak jest wystarczającego upakowania receptorów, aby przynajmniej jeden odpowiadał paskowi bodźca.

Nieprawidłowa reprezentacja bodźca wynikająca ze stymulowania receptorów poniżej krytycznego rozmieszczenia nazywana jest **aliasing** (ang.). Neuronalne mechanizmy modulatoryjne zapobiegają przewodzeniu fałszywych bodźców. Następstwa zjawiska **aliasing** ilustruje ryc. 6. Górny diagram prezentuje ekspozycję receptyjnych pól typu **undersampled**. Różniące się między sobą odpowiedzi neuronów są przedstawione jako pierścienie o zmiennej luminancji w dolnej części diagramu. Obraz siatkówkowy pionowych pasków wzorca jest fałszywie opisany w obrazie neuronalnym jako wzorec skośny. Jeżeli bodziec przemieszcza się w prawo lub w lewo, neuronalny obraz wykazuje tendencję do ruchu w kierunku skośnym prostopadłe do wzorca **aliasing**. Efekt ten zwany jest **motion aliasing** (ang.). Tak więc limit upakowania receptorów mniejszy niż krytyczny można scharakteryzować jako początek **aliasing**.

Niżej podany wzór przedstawia zależność między ostrością wzroku a gęstością neuronów:

$$V = 0,5 \sqrt{D}$$

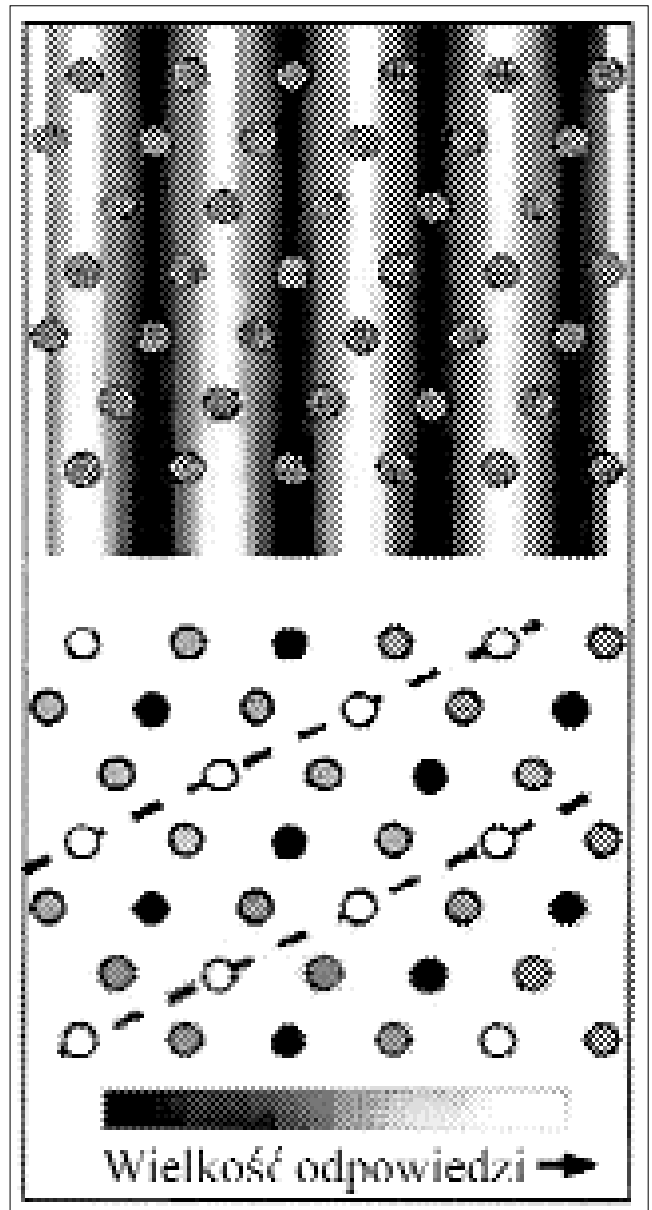
Przykład: dla obszaru siatkówki wielkości 1x1 stopień kątowy, zawierającego 100 neuronów, najwyższa rozdzielczość wyniesie 5 cykli na stopień. Ta graniczna częstotliwość zwana jest częstotliwością **Nyquista**.

Istotą zastosowania klinicznego tej teorii jest zatem korelacja między gęstością funkcjonujących neuronów – D a ostrością wzroku – V (13,17).

W świetle badań ostatniej dekady stwierdzamy, że dołek jest częścią siatkówki nielimitowaną przez **sampling**. Przyczyna tego zjawiska leży w ekstremalnie wysokiej gęstości upakowania fotoreceptorów – czopków i komórek zwojowych u osób dorosłych.

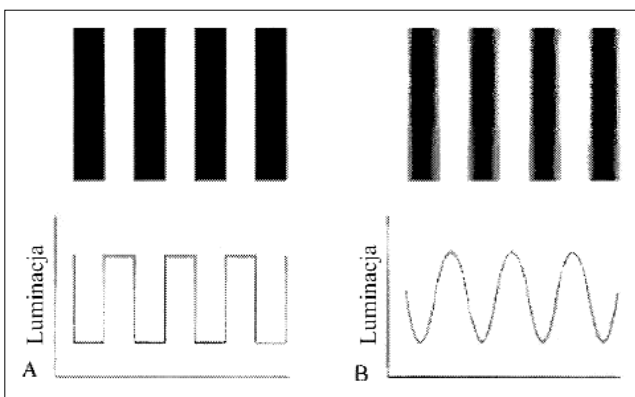
Pojawiły się, coraz głośniejsze ostatnio teorie, zwłaszcza **teoria filtracji**, które podają, że teoretycznie założona granica **sampling** jest w rzeczywistości trudna do osiągnięcia, ponieważ dolny limit narzucany jest przez mechanizmy filtracyjne oka. W nawiązaniu do **teorii filtracji**, rozdzielczość przestrzenna ograniczona jest nie tylko przez gęstość fotoreceptorów, ale również przez niewystarczający kontrast bodźca. Znanе jest zjawisko występujące w centralnym widzeniu: wyraźny wzór znika przez zmianę kontrastu bodźca, tak że jego obraz staje się niewyraźny. Wynika to z małego kontrastu, który limituje rozdzielczość (9,16).

Ostrość wzroku wg Snellena można ująć jako częstotliwość przestrzenną i *vice versa* (ryc. 7). Na przykład dla ostrości wzroku wg Snellena 6/6 na jeden cykl sinusoidy przypadają 2 minuty



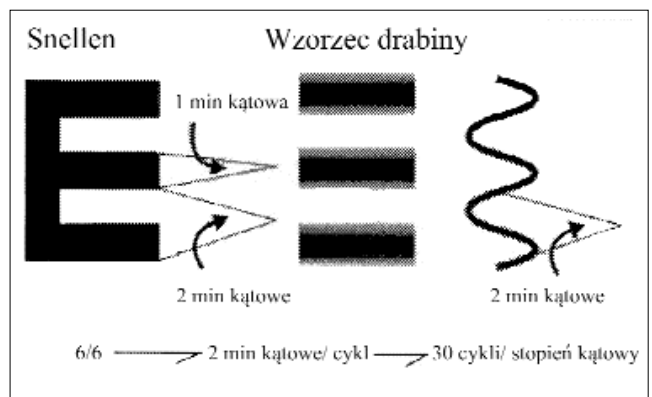
Ryc. 6. Sampling theory rozdzielczości widzenia. Zjawiska: aliasing i motion aliasing.

Fig. 6. Sampling theory of visual resolution. Aliasing and motion aliasing.



Ryc. 5. Fala wzorca o profilu sinusoidalnym i czworokątnym.

Fig. 5. Sinusoidal and square shape grating.



Ryc. 7. Ostrość wzroku wg Snellena i jej odpowiednik w postaci częstotliwości przestrzennej.

Fig. 7. Snellen visual acuity and spatial frequency.

kątowe, na jeden stopień zaś 60 minut kątowych, czyli 30 cykli, a zatem częstotliwość przestrzenna dla 6/6 równa jest 30 cykli na stopień. Campbell i Green użyli wzorca sinusoidy w celu określenia maksimum rozdzielczości siatkówki. Posłużyli się oni interferującymi krzywymi sinusoidalnymi generowanymi przez laser, dochodzącymi do siatkówki przez ośrodki optyczne oka. Maksymalna rozdzielczość badana tym sposobem wynosiła około 60 cykli na stopień. Bardziej zaawansowane prace dotyczące gęstości fotoreceptorów i rozdzielczości przestrzennej wykazały, że rozmieszczenie fotoreceptorów siatkówki pozwala na uzyskanie ostrości widzenia do 6/1 lub około 150 cykli na stopień (3,11). Przestrzeń czopka w dołeczku wynosi około 28 sekund kątowych (3). Opierając się na tych wiadomościach, można stwierdzić, że uzyskanie przez człowieka ostrości widzenia 60 stopni na cykl możliwe jest przy odpowiednio przeprowadzonym badaniu, przeciwnych ośrodkach optycznych i prawidłowych procesach neuronalnych pozareceptorowych.

Czynniki wpływające na ostrość wzroku

Wada wzroku

Zaburzenia refrakcji oddziałują na zmiany w ogniskowaniu obrazu na siatkówce, co powoduje zamazywanie się szczegółów, kształtów, wpływa na odczuwanie kontrastu poprzez rozproszenia obrazu na siatkówce. Krótkowzroczność czy nadwzroczność powodują spłaszczenie, rozciągnięcie wykresów funkcji rozproszenia punktów i niespełnianie kryterium Raleigh'a. Odzwierciedla się to w zamazywaniu obrazu i zmniejszeniu rozdzielczości. W oku krótkowzrocznym zbyt silny układ optyczny ogniskuje wiązkę światła przed siatkówką w przeciwieństwie do oka nadwzrocznego, w którym zbyt słaby układ optyczny skupia wiązkę za siatkówką.

Szerokość źrenicy

Szeroka źrenica pozwala na dotarcie do siatkówki szerszej wiązki światła, co redukuje dyfrakcję, ale zwiększa aberrację, ograniczając rozdzielczość. Przy wąskiej źrenicy redukcji ulegają aberracje, ale rozdzielczość limitowana jest przez dyfrakcję. Optymalna średnica źrenicy waha się między 3 a 5 mm, zachodzi wówczas równowaga między dyfrakcją a aberracjami występującymi w układzie optycznym (2,12).

Luminancja

Istotne znaczenie dla rozróżniania optotypów ma luminancja tła, na którym są one rozmieszczone. Dla stanów fotopowych zależność między ostrością wzroku a luminacją tła do wartości 300 cd/m² pozostaje liniowa. Można więc stwierdzić, że w pewnych warunkach im większa jest luminancja tła, tym większą ostrość wzroku można osiągnąć. Dzieje się tak dlatego, że w obrębie populacji czopków i pręcików występują komórki o różnej czułości, rozmieszczone w sposób przypadkowy. Wysoka luminancja aktywuje wszystkie komórki do wysokiego poziomu aktywności, niska zaś – tylko komórki wrażliwe na określoną luminację tła. Beładne rozmieszczenie fotoreceptorów sprawia, że ich mozaika jako całość warunkuje poziom ostrości wzroku. Kolejnym ważnym czynnikiem jest wpływ gęstości fotoreceptorów na rozdzielczość. Kiedy wzrasta natężenie światła, w większym stopniu pobudzane jest centrum siatkówki. Wysoka rozdzielczość współlistnieje zatem z dużą gęstością fotoreceptorów.

Pola siatkówkowej stymulacji

Najlepsza ostrość wzroku przypada na dołek, gdzie gęstość upakowania czopków jest największa. Znaczne jej obniżenie występuje już w odległości 5 minut kątowych od centrum fiksacji. W odległości 10 minut kątowych (1/6 stopnia) stwierdzamy 25% ostrości wzroku badanej w obrębie dołeczka. W zakresie 2 stopni od punktu fiksacji występuje ścisła korelacja liniowa między upakowaniem czopków i rozdzielczością w warunkach fotopowych a ostrością widzenia (6). W przypadku większych odległości od centrum fiksacji ostrość wzroku pogarsza się w większym stopniu niż wynikałoby to ze zmniejszenia gęstości czopków. Fakt ten może potwierdzać obecność innych, pozareceptorowych czynników ograniczających.

Poziom adaptacji oka

Najwyższy poziom ostrości wzroku można osiągnąć, jeżeli oko adaptuje się do tych samych poziomów luminancji co znaczek testowy w zakresie od 34 cd/m² do 34,000 cd/m². Wysoka gęstość rozmieszczenia czopków w dołku odpowiada za wysoką ostrość wzroku w warunkach fotopowych. W warunkach skotopowych granicę rozdzielczości ustalają komórki amakrynowe typu All, będące inter-neuronami pierwotnej siatkówki (8,15). Maksymalna ostrość wzroku w warunkach skotopowych osiągana jest przez siatkówkę między 5. a 15. stopniem od centrum fiksacji, co koreluje z gęstością komórek amakrynowych All, podczas gdy największe upakowanie pręcików stwierdza się w obszarze między 15. a 20. stopniem od dołeczka. Powyżej 15 stopni od punktu fiksacji skotopową ostrość wzroku limitują komórki zwojowe typu P (10).

Podobne zależności występują w systemie fotopowym (9). Fotopowa rozdzielczość w obrębie 2 stopni zależy od gęstości czopków. Green (6), Mills i Massey (10) podają, że dla zakresu powyżej 2. stopnia ostrość wzroku ograniczają procesy pozaneuronalne.

Sumowanie przestrzenne

Sumowanie przestrzenne to zdolność siatkówki do sumowania energii pobudzającej z wielu pól receptorowych siatkówki, z których żadne nie uzyskało progu pobudzenia. Zgodnie z prawem Ricca opisującym tę zależność próg pobudzenia jest osiągnięty, kiedy iloczyn energii luminancji i pola podlegającego pobudzeniu wyniesie stałą wielkość k . Innymi słowy, aby uzyskać próg pobudzenia, kiedy luminancja ulega podwojeniu, stymulowane pole musi zmniejszyć się o połowę. Prawo Ricca opisuje wzór:

$$L \times A^n = k,$$

gdzie L oznacza luminancję stymulacji, A – obszar stymulacji, k jest stałą wielkością, dla $n = 1$ sumowanie jest kompletne, dla $0 < n < 1$ – częściowe, gdy $n = 0$ brak sumowania. Krytyczne pole zmienia się wraz z odległością od dołeczka. Dla obszaru okołodołkowego – 4 do 7 stopni wynosi ono 30 minut kątowych, wzrasta do 2 stopni w odległości 35 stopni od punktu fiksacji (4).

Sumowanie przestrzenne występuje na drodze łączenia się fotoreceptorów z komórkami zwojowymi. Z pola recepcyjnego wychodzi jeden sygnał. Pola recepcyjne w okolicy okołodołkowej są mniejsze niż na obwodzie. Należy więc podkreślić, że zakres sumowania przestrzennego (funkcjonalne pola recepcyjne) ogranicza rozdzielczość.

Czułość kontrastu

Ostrość wzroku badana w sposób typowy z użyciem wysokiego kontrastu polega na odczytywaniu czarnych optotypów na białym tle.

W rzeczywistości obiekty i ich tło charakteryzują się bardziej zróżnicowanym kontrastem. Zależność między ostrością wzroku a kontrastem dostarcza bardziej szczegółowych informacji o procesie widzenia. Wzorec kraty stosuje się jako wyznacznik siły rozdzielczości oka, gdyż krata może być przedstawiana w dowolnym wymiarze. Kontrast wzorca kraty opisuje równanie Raleigha i Michelsona (ryc. 8):

$$C = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min}),$$

gdzie C przyjmuje wartości 0-1,0. Jednostkę kontrastu wyrażoną w skali logarytmicznej opisuje równanie:

$$dB = -20 \log 10 C.$$

Jak pisaliśmy wcześniej, czułość układu wzrokowego możemy opisać jako określoną częstotliwość przestrzenną. Kontrast wzorca kraty dostosowany jest do określenia progu postrzegania dla danej częstotliwości przestrzennej. Kontrast zmniejsza się do wartości, poniżej których rozpoznawanie wzorca staje się niemożliwe. Ten próg kontrastu zwany jest **czułością kontrastu**. Wykres czułości kontrastu w stosunku do częstotliwości przestrzennej bodźca zwany jest **funkcją przestrzennej czułości kontrastu SCSF** lub częściej **CSF** (ryc. 9). CSF uważa się za wizualny odpowiednik audiogramu. Audiogram określa minimalną energię niezbędną do detekcji czystych tonów dla różnych pałupów częstotliwości. W ten sposób sprawdzana jest zdolności słyszenia kompletu dźwięków. Badanie czułości kontrastu pozwala ustalić indywidualną zdolność sumowania przestrzennych informacji w kompleksowe widzenie.

Funkcja czułości kontrastu

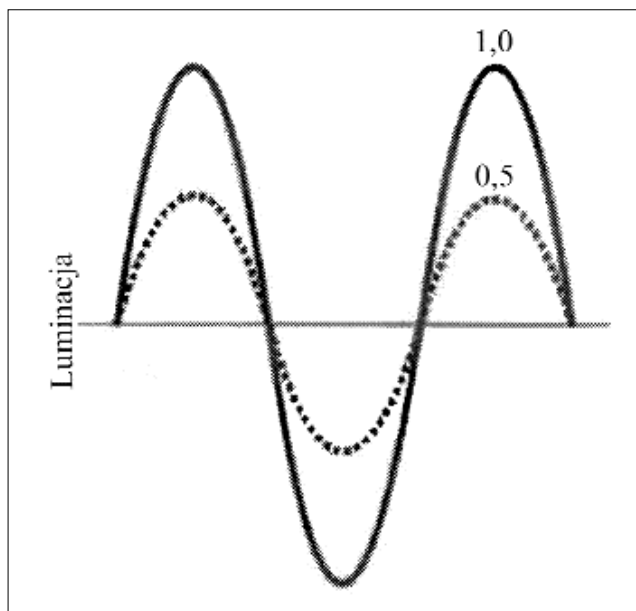
W warunkach fotopowych szczyt CSF przypada na średni zakres częstotliwości przestrzennej. Kształt i graniczne parametry CSF zależą od szeregu czynników: średniej luminancji kraty wzorca, przezierności ośrodków optycznych oka, profilu luminancji wzorca (fala sinusoidalna lub kształtu czworokątnej). W warunkach skotopowych maksymalna czułość kontrastu wynosi około 8%, a maksimum rozdzielczości – około 6 cykli na stopień. Gdy wzrasta średni poziom oświetlenia, szczyt czułości kontrastu dochodzi do 0,5%, a częstotliwość przestrzenna postrzegana przez badanego – do 50-60 cykli na stopień. Rozróżniamy następujące typy nieprawidłowości czułości kontrastu:

1. zgeneralizowany ubytek czułości kontrastu we wszystkich częstotliwościach przestrzennych,
2. ubytek czułości kontrastu w wysokich częstotliwościach przestrzennych,
3. ubytek czułości kontrastu w niskich częstotliwościach przestrzennych,
4. ubytek typu notch (ang.) dotyczący grupy częstotliwości przestrzennych.

CSF używamy do oceny optycznych właściwości ludzkiego oka w przypadku nieprawidłowości refrakcji, chorób rogówki, zaćmy, oceny widzenia po zabiegach chirurgii refrakcyjnej i chirurgii zaćmy (14).

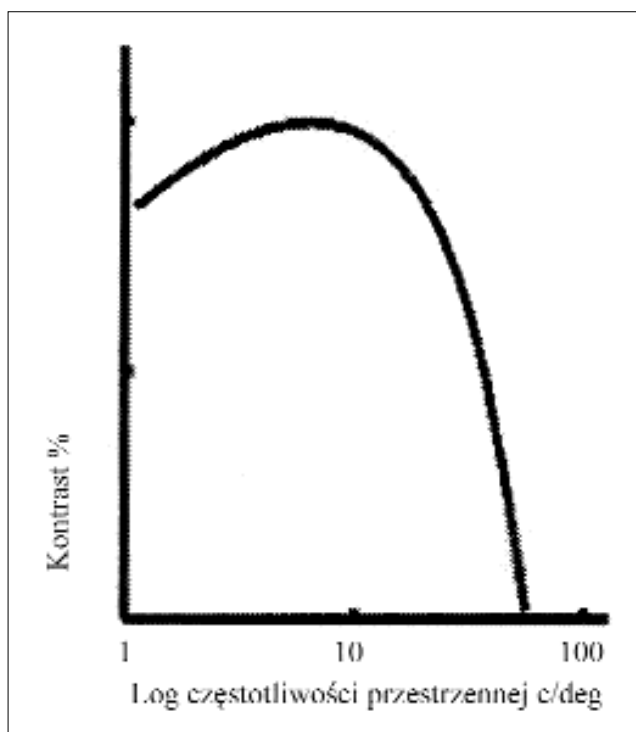
Ubytki w CSF występują u pacjentów z retinopatią cukrzycową, AMD, neuropatią jaskrową. Badanie CSF ujawnia subtelne deficyty u pacjentów z SM, zapaleniem nerwu wzrokowego oraz u chorych z innymi neuropatiami i nieprawidłowościami OUN, niedowidzeniem, chorobą Alzheimera, Parkinsona, zwłóknieniem torbielowatym.

Pierwsze badania wykazujące, że czułość kontrastu jest miernikiem we wczesnym wykrywaniu jaskry, zostały opublikowane przez Ardena i Jacobsena w 1978 r. (1). Stwierdzono różnice w ubytku



Ryc. 8. Zależność między luminacją sinusoidalnego wzorca a czułością kontrastu.

Fig. 8. Luminance of sinusoidal grating and contrast sensitivity.



Ryc. 9. Funkcja czułości kontrastu.

Fig. 9. Contrast sensitivity function.

czułości kontrastu u pacjentów z nadciśnieniem wewnątrzgałkowym, jaskrą wczesną i zaawansowaną. Największe ubytki występowały w środkowej części wykresu dla częstotliwości 6 cykli. W przypadku zaćmy Hess i Woo (7) jako pierwsi podali ubytek widzenia dla dolnych częstotliwości przestrzennych.

Tablice do badania czułości kontrastu

Badanie czułości kontrastu może być przeprowadzane za pomocą szeregu tablic. Jedną z nich jest Vistech chart, zawierająca 5 rzę-

dów kół z paskami pionowymi o określonej częstotliwości, odchylającymi się w lewą i w prawą stronę. Kontrast pasków w rzędzie ulega sukcesywnej redukcji. Zadaniem pacjenta jest podanie kierunku nachylenia pasków (14).

Inna metoda badania czułości kontrastu została opracowana przez Pellego i wsp. (14). W badaniu stosowane są karty, zwane Pelli-Robson chart. Tablice te zawierają uszeregowane litery tej samej wielkości, różniące się kontrastem. Każdy z rzędów zawiera 6 liter, z których 3 z lewej i 3 z prawej charakteryzują się tym samym kontrastem. Pacjent czyta kartę w ten sam sposób co tablicę standardową, wyznaczany jest minimalny kontrast, przy którym litery są rozpoznawane.

Rodzajem badania czułości kontrastu jest sprawdzenie kontrastu dynamicznego. Paski wzorca ulegają inwersji w określonym rytmie. Częstotliwość czasowa wyrażona jest w hercach lub cyklach na sekundę (cps). **Glare test** to badanie wrażliwości na kontrast z oślnieniem przez źródło światła umieszczone przy tablicy. Podczas testu dochodzi do zwiększenia utraty wrażliwości na kontrast z powodu dyfuzji fal świetlnych. Oślepiająca wiązka światła dołącza się do luminancji wzorca, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia kontrastu obrazu siatkówkowego prezentowanego wzorca. W życiu codziennym podobne zjawiska zachodzą u kierowcy podczas mijania samochodu nocą czy u osoby czytającej tekst na śliskim papierze. W takich przypadkach **glare test** jest cennym badaniem uzupełniającym.

Badanie czułości kontrastu jest zatem szeroko rozpowszechnioną, specjalistyczną formą szczegółowej oceny ogólnej zdolności widzenia, opartą na znajomości procesów neurofizjologicznych.

PIŚMIENICTWO: 1. Arden G., Jacobsen J.: *A Simple Grating Test for Contrast Sensitivity – Glaucoma Screening*. *Inv. Ophthalm. Vis. Sci.*, 1978, 17, 23-32. 2. Atchison D. A., Smith G., Efron N.: *The effect of*

pupil size on visual acuity in uncorrected and corrected myopia. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, 1979, 56, 315-323. 3. Curcio C. A., Sloan K. R., Kalina R. E. et al.: *Human photoreceptor topography*. *J. Comp. Neurol.*, 1990, 292, 497-523. 4. Davson H.: *Davson's Physiology of the Eye*. Macmillan Academic and Professional Ltd., London, 1990, 5th ed. 5. D'Zmura M.: *Bergmann on visual resolution*. *Perception*, 1996, 25, 1223-1234. 6. Green D. G.: *Regional variations in visual acuity for interference fringes on the retina*. *J. Physiol.*, 1970, 207, 351-356. 7. Hess R., Woo G.: *Vision through Cataracts*. *Inv. Phth. Vis. Sci.*, 1978, 17, 428-435. 8. Kolb H., Lindberg K. A., Fisher S. K.: *Neurons of the human retina: a Golgi study*. *J. Comp. Neurol.*, 1992, 318, 147-187. 9. Miller W. H., Bernard G. D.: *Averaging over the foveal receptor aperture curtails aliasing*. *Vision Res.*, 1983, 23, 1365-1369. 10. Mills S. L., Massey S. C.: *All amacrine cells limit scotopic acuity in central macaque retina: a confocal analysis of calretinin labeling*. *J. Comp. Neurol.*, 1999, 411, 19-34. 11. Roorda A., Williams D. R.: *The arrangement of the three cone classes in the living human eye*. *Nature*, 1999, 11, 520-522. 12. Smith G., Atchison D. A.: *The Eye and Visual Optical Instrument*. New York, Cambridge University Press, 1997. 13. Wang Y. Z., Bradley A., Thibos L. N.: *Interaction between sub-and-supra-Nyquist spatial frequencies in peripheral vision*. *Vision Res.*, 1997, 37, 2545-2552. 14. Wash and Hoyt's: *Clinical Neuro-Ophthalmology*. Fifth edition Williams & Wilkins A Waverly Company, 1997, Vol. I. 15. Wassle H., Grunert U., Chun M. H., Boycott B. B.: *The rod pathway of the macaque monkey retina: identification of All- amacrine cells with antibodies against calretinin*. *J. Comp. Neurol.*, 1995, 361, 537-551. 16. Westheimer G.: *Visual acuity*. In: Moses RA, ed. *Adler's Physiology of the Eye*, St. Louis, C. V. Mosby, 1981, 530-544. 17. Yellot J. I.: *Spectral analysis of spatial sampling by photoreceptors: topological disorder prevents aliasing*. *Vision Res.*, 1982, 22, 1205-1210.

Praca wpłynęła do Redakcji 17.01.2003 r. (194).

Adres do korespondencji (Reprint requests to):
lek. med. Małgorzata Figurska
Klinika Okulistyczna Wojskowego Instytutu Medycznego
ul. Szaserów 128
00-909 Warszawa

Zapraszamy na naszą stronę internetową

www.okulistyka.com.pl