

JAN MŁODKOWSKI

Zakład Psychologii Pracy
i Doradztwa Zawodowego
Instytut Psychologii UŁ

ANTYNOMIA CENTRUM I PERYFERII W PROCESIE WIDZENIA*

WSTĘP

Od dawna rozróżnia się dwa mechanizmy widzenia, które wprowadzie posiadają odmienne właściwości, ale skutecznie uzupełniają się wzajemnie w zintegrowanym procesie widzenia. Podkreśla się aspekt przestrzenny tej dychotomii, dzieląc widzenie na centralne i peryferyjne, bądź też aspekt energetyczny, rozwarstwiając widzenie na fotopowe i skotopowe.

W rzeczywistości alternacja ma konsekwencje bardziej złożone i wielowymiarowe. Ich rekonstrukcja pozwala lepiej zrozumieć proces widzenia we wzajemnym uwarunkowaniu mechanizmów składowych. Celem niniejszego artykułu jest rozwinięcie tej tezy, a zarazem zwrócenie uwagi na źródło nieporozumień, jakim jest ciągle jeszcze powszechne przedstawianie jednolitej charakterystyki zjawiska, w dodatku złożonej z niejednorodnych i naprzemiennie się wykluczających fragmentów charakterystyk szczegółowych.

Wspomniane mechanizmy zazębiają się wzajemnie zapewne w pełniejszym zakresie niż pokazuje to obraz dzisiejszej wiedzy. Niemniej jednak znanych jest aktualnie kilka zależności o charakterze strukturalno-funkcyjnym, które chcę tu przypomnieć. Ponadto rozróżnienie autonomicznych mechanizmów składowych powinno zarazem strzec przed pochopnymi generalizacjami, o które nietrudno chociażby z powodu braku zindywidualizowanych nazw poszczególnych elementów.

* Tekst został przygotowany w ramach grantu KBN 1 H01F 024 18: „Zależność formy i głębokości kodowania od strefy wprowadzenia sygnału na siatkówce”.

Nazwy poprzednio wspomnianych podziałów sugerują, że związane są one z właściwościami siatkówki. Jednakże ten poziom tylko inicjuje zjawisko, którego następstwa sięgają na wyższe poziomy hierarchicznej struktury układu nerwowego, o czym wiadomo znacznie mniej. Sposób referowania przyjęty w tym sprawozdaniu, gdzie struktura będzie się często przeplatała z funkcją, a czasem z aspektem rozwojowym, będzie jednakże możliwie konsekwentnie podporządkowany kierunkowi od obwodu do środka.

KOMÓRKI ŚWIATŁOCZULÉ

Wiedza anatomiczna jest fundamentem całego problemu. Sprowadza się ona do zagadnienia zróżnicowania w budowie siatkówki, a dokładniej do wyodrębnienia fragmentu zawierającego same (lub prawie same) czopki oraz niezawierającego (lub zawierającego znacznie mniej) komórek poziomych (amakrynowych bądź horyzontalnych), czyli **strefy centralnej**.

Ponieważ nie ma jednolitych poglądów, w tab. 1 przytoczyłem informacje z kilku źródeł, a w komentarzach umieściłem swoje interpretacje bądź wątpliwości, niedające się rozstrzygnąć przez porównanie tekstów.

Tabela 1

Liczbowe charakterystyki poszczególnych stref siatkówki

Doleczek			Dolek		Plamka żółta		Źródło informacji
Średnica (w mm)	Wielkość kąтова	Ilość czopków (w tys.)	Średnica (w mm)	Wielkość kąтова	Średnica (w mm)	Wielkość kąтова	
0,3	$\approx 1^\circ$	ca 25	0,7	$\approx 2^\circ$	1,5	$\approx 5^\circ$	Padgham, Saunders 1975 Ditchburn 1973 Adler 1968 Mondelski 1986
0,1	20'	ca 7		$\approx 2^\circ$	1,5	$\approx 5^\circ$	
0,25–0,3	54'	9–14			1,5 $\uparrow$,	$\approx 5^{\circ a}$	
0,5–0,6	$\approx 1^\circ 40'$	ca 13			2 $\leftrightarrow$	5–6 $^\circ \uparrow$, 8 $^\circ \leftrightarrow$	
ca 0,25	53,2'	ca 13					Starkiewicz 1969
ca 0,4	$\approx 1^\circ 20'$	20					Kulikowski 1969

^a F. H. Adler podaje także, że na tej przestrzeni mieści się 115 000 czopków.

Jak widać w tab. 1, rozbieżności są duże, mimo przyjęcia tych samych kryteriów anatomicznych. Niektórzy z autorów podkreślają, że im bliżej środka doleczka, tym występujące czopki stają się wyraźnie dłuższe – do 70 μm , a przy tym coraz bardziej cienkie – do 1,5 μm średnicy (ca 20'', tzw. **czopki**

wysmukłe). Jest ich kilkaset, mają w przekroju poprzecznym kształt zbliżony do sześciokąta, co umożliwia ich rekordowe zagęszczenie, w którym odległość między środkami wynosi 2–2,5 μm (ca 30'').

Doleczek, czyli strefa siatkówki o najmniejszej (ca 0,1 mm) grubości, zawiera wyłącznie czopki. Natomiast na obszarze dołka, kolejnej z powszechnie uznawanych struktur, który po wyodrębnieniu doleczka posiada figurę pierścienia, pojawiają się nieliczne pręciki.

Dla celów poglądowych warto dodać, że jeden stopień powierzchni siatkówki pozwala odwzorować z odległości 1 m koło o średnicy 17,5 mm. H. Helmholtz proponował, aby w praktyce uznać za wymiarowo ekwiwalentny powierzchni jednego stopnia siatkówkowy obraz paznokcia kciuka przy wyprostowanej ręce. Natomiast Amerykanie sugerują wykorzystanie powierzchni monety centowej (ca 18 mm) trzymanej w płaszczyźnie czołowej w palcach wyciągniętej ręki dla pokrycia jej obrazem ok. dwustopniowej średnicy dołka (Woodworth, Schlosberg 1966).

Najczęściej ze strefą centralną kojarzy się okrąg (elipsę) ograniczony zewnętrznym obwodem dołka centralnego. Zgromadzone dane pomiarowe wskazują na duże rozbieżności w wynikach, niekonsekwencje rachunkowe i brak ujednolicenia poglądów¹. Ponadto z reguły nie uwzględnia się, że środek plamki ma odmienną strukturę anatomiczną, a w ślad za tym mogą się ujawniać niejednolite funkcje.

Poza tym niektórzy autorzy inaczej wyznaczają granicę stref. Na przykład R. W. Ditchburn proponuje, aby pierścień między średnicami 2–10° uznać jako obszar przydołkowy (*parafoveal*) i to jego kres wyznaczałby linię rozgraniczającą **strefę centralną** od wewnątrz, natomiast pozostałą na zewnątrz część siatkówki uznać za **strefę peryferyjną**. W licznych pracach z psychologii inżynierskiej poświęconych optymalizacji rozmieszczenia sygnalizatorów w polu widzenia, wydziela się trzy zróżnicowane pod względem efektywności strefy. Wśród nich pierścień środkowy, aczkolwiek różnie definiowany pod względem wielkości, odpowiadałby strefie parafovealnej.

Mimo tradycji definiowania parametrów stref centralnej i peryferyjnej w kontekście właściwości siatkówki wydaje się, że bardziej użyteczne i wygodne

¹ W niektórych źródłach rozbieżności dochodzą do podwojenia użytych liczb, co sugeruje stosowanie w opisie średnicy przez jednych, a promienia przez drugih autorów, bez użycia szczegółowego miana, tzn. wspominając tylko o wielkości. Poza tym kryteria rozgraniczające są nieujednolicone (np. absolutny brak *versus* dominacja ilościowa jednego typu komórek), co przyczynia się do zróżnicowania pomiarów. Sygnalizuje to R. W. Ditchburn (1973, s. 9). Innym powodem trudności może być odejście od dziesiętnego systemu obliczeń przy stosowaniu pomiarów wielkości kątowej. S. Polyak – najwybitniejszy XX-wieczny badacz anatomii ludzkiej siatkówki – wykorzystał każdą dostrzeżoną różnicę strukturalną jako kryterium podziału i wyodrębnił w ten sposób na siatkówce siedem stref. Jednakże pod względem czynnościowym ten podział do dzisiaj nie ma odpowiednika.

byłoby konsekwentne posługiwanie się parametrami pola widzenia. Takie funkcjonalne podejście sprzyja na ogół modyfikacjom granic wyznaczanych przez rozmieszczenie i właściwości komórek światłoczułych. Uzasadniają ją także poniższe uwagi.

Siatkówka, będąc ekranem dla obrazu tworzącego się wewnątrz gałki ocznej, umożliwia dokładność odwzorowania szczegółów zależnie od wielkości oczek swej sieci, czyli poszczególnych komórek. Bazująca na owej dokładności ostrość widzenia jest zatem prostą funkcją gęstości komórek. Często reprodukowane w literaturze wykresy funkcji gęstości czopków i ostrości widzenia pokrywają się bardzo wyraźnie².

J. P. Guilford (1978) – bardzo skrajnie – ocenia, że ostrość wystarczająca dla dokładnego widzenia jest właściwością ok. 0,1% pola widzenia odwzorowanego na siatkówce podczas fiksacji. Z innych oszacowań wynika, że widzenie centralne, w zakresie powierzchni kolistej o kilkustopniowej (przyjmijmy 10°, co odpowiadałoby kilkuprocentowej wielkości wskaźnika Guilforda) średnicy, posiada do dyspozycji ostrość widzenia nie gorszą niż 0,7 normy. Ten współczynnik jest zupełnie wystarczający do nadzorowania wszystkich typowych sytuacji i czynności codziennego życia, aczkolwiek bez komfortu. Natomiast jest to arbitralnie przyjęta dolna granica ostrości dla strefy centralnej, zatem mieści się w niej wszystko powyżej współczynnika, łącznie z maksimum stanowiącym dla każdego oka standard ostrości i gwarantującej w warunkach normy komfort widzenia.

Powiązanie charakterystyki strefy centralnej z ostrością wskazuje, że ten efekt tkwi w genezie skokowych ruchów oczu. W literaturze, zwłaszcza niemieckiej, jest on od dawna nazywany **widzeniem lunetowym**, ponieważ przypomina czynność obserwatora, który wąski kąt widzenia swej lunety rekompensuje szczególną aktywnością ruchów śledzących. Objawia się tu wyraźnie funkcja skokowych ruchów oczu, polegająca na sukcesywnym naprowadzaniu fragmentów obrazu pola widzenia na obszar ostrego widzenia (czyli strefę centralną siatkówki). Pamięć łączy te fragmenty w spójny obraz, niekoniecznie kompletny, ale przynajmniej zawierający informacje niezbędne dla rozpoznania (Młodkowski 1998). Trzeba przyznać, że koncepcje pamięci rezydujące we współczesnej psychologii nie wyjaśniają przekonująco jak do tego dochodzi, a istniejące podziały pamięci także nie ułatwiają wskazania bez wątpliwości, do której frakcji ta funkcja należy.

Pozostaje jeszcze wspomnieć o zasadniczej funkcji strefy peryferyjnej. Jest nią ustalanie lokalizacji obiektów (fragmentów pola widzenia), które dzięki najbliższemu skokowi zostaną wprowadzone w strefę widzenia centralnego. O ile kryterium wyboru tych obiektów ma charakter optyczny, wyjaśnienie

² Bieżące stwierdzenia dotyczą widzenia fotopowego, ograniczona analogia do konkurencyjnego mechanizmu widzenia skotopowego zostanie przedstawiona dalej.

ich wyróżniania w polu widzenia nie jest kłopotliwe. Ale wydaje się, że często (a może nawet – z reguły) są to kryteria merytorycznie związane z poprzednio identyfikowanym fragmentem. Powstaje tutaj pewien paradoks teoretyczny. Bo jeśli na podstawie wstępnej fiksacji została trafnie zaktywizowana matryca pamięciowa, która skutecznie może przejąć sterowanie kolejnymi ruchami, to właściwie ten trafny wybór już spełnia warunki identyfikacji i dalsze skoki są już niepotrzebne. Jeśli matryca nie została dobrana trafnie, to skoki są przydatne, ale przecież nie mogą być sterowane fałszywą matrycą. Nie znam prób zadowalającego wyjaśnienia tej dychotomii.

Ponieważ poruszałem tu zagadnienie ostrości i ruchów oczu, to warto wspomnieć kojarzący się z tym pozorny paradoks (jeszcze ciągle o statusie hipotetycznego wyjaśnienia) przekraczania teoretycznych kryteriów rozróżniania szczegółów. Otóż na odwzorowanie szczegółu obrazu o wielkości 1' (norma ostrości widzenia!) potrzebny jest obszar o średnicy prawie 5 μm . W samym dołeczku na takiej odległości zlokalizowane są przynajmniej dwa czopki. Analiza teoretyczna podpowiada, iż odwzorowanie jest ograniczone wielkością korespondującą ze średnicą jednego czopka przy niepobudzonych komórkach bezpośrednio z nim sąsiadujących. Rzeczywiście – badania pokazują, że średnia pomiarów dla młodych, zdrowych osób wynosi ok. 30". Natomiast badania w dobrze kontrolowanych warunkach laboratoryjnych dowodzą, że mogą być dostrzegane szczegóły 2–3 razy mniejsze niż wielkość kątowna pojedynczej komórki odbiorczej. Wyjaśnienie nawiązuje do tremoru³, ruchu, dzięki amplitudzie którego obraz nieruchomego szczegółu oscyluje na pojedynczych czopkach, dzięki czemu powstają sprzyjające warunki, aby przy takich mikrowielkościach nastąpiło pobudzenie komórki. Następstwem tego pobudzenia jest właśnie rozróżnienie szczegółu. Oczywiście cały efekt jest charakterystyczny dla widzenia centralnego.

Natomiast rozkład gęstości pręcików, od którego zależy ostrość widzenia w skąpych warunkach oświetleniowych, związany jest ze strefą peryferyjną. Pierwsze pręciki pojawiają się na brzegach dołka centralnego i bardzo gwałtownie zwiększa się ich zagęszczenie w kierunku brzegu siatkówki, osiągając maksimum na pierścieniu o promieniu ca 16–18°, i gęstość ok. 147 000 komórek na mm^2 . Potem stosunkowo równomiernie gęstość ta zmniejsza się do brzegu siatkówki, gdzie posiada ok. 40% kondensacji maksymalnej. Model plastyczny tego rozmieszczenia wygląda jak krater bez dna o wysmukłych i stromych ścianach wewnętrznych i łagodnych, poprzecinanych wąskimi tarasami stokach zewnętrznych. Posługiwanie się widzeniem pręcikowym wymaga takiego

³ Tremor to odmiana mikroruchów o charakterze oscylacyjnym, najczęstszych amplitudach 20–40" i odwrotnie do nich proporcjonalnej częstotliwości 30–90 Hz, uzależnionej od intensywności oświetlenia.

ustawienia oczu, aby aktualnie fikсовany szczegół padał na brzeg krateru, w jego dowolnym punkcie. Powstaje wówczas taki fizjologicznie uwarunkowany „zez obserwacyjny”, skoordynowany dla obydwu oczu.

NIEJEDNOLITOŚĆ WRAŻLIWOŚCI ŚWIETLNEJ

Wrażliwość substancji światłoczułych zawartych w podstawowych grupach komórek światłoczułych jest zróżnicowana na natężenie oświetlenia w całym spektrum. Zróżnicowanie to wynosi od kilkuset do kilku tysięcy razy, zależnie od długości fali. Biorąc pod uwagę zakresy najbardziej użyteczne, przyjmuje się w praktyce, że zawarta w pręcikach rodopsyna jest 800–1000 razy bardziej wrażliwa niż analogiczne substancje w czopkach. Daje to strefie peryferyjnej wyraźną dominację pod tym względem.

Warto jednak dodać, iż brak naczyń krwionośnych w plamce żółtej, a także komórek poziomych w dołku, pozwala na słabsze rozproszenie i mniejsze pochłonięcie światła przenikającego przez całą grubość siatkówki, aby dostać się do najgłębiej położonej warstwy światłoczułej.

Te różnice we wrażliwości świetlnej wiążą strefę widzenia centralnego z widzeniem fotopowym, a peryferyjnego – z widzeniem skotopowym. Pierwsze z nich ustaje wraz z natężeniem oświetlenia ok. 0,1 lx, natomiast drugie rozpoczyna się od ok. 10 lx. W stosunkowo wąskim paśmie zazębiania się tych zakresów mamy do czynienia z widzeniem mezopowym, bazującym na aktywności wszystkich komórek światłoczułych i obejmujących obydwie strefy.

ZRÓŻNICOWANIE WRAŻLIWOŚCI BARWNEJ

Najprawdopodobniej egzemplarze poszczególnych grup czopków są na całej powierzchni siatkówki. Natomiast ich zagęszczenie i aktualne natężenie światła, wpływające na reorganizację pól recepcyjnych, decydują o wielkości poszczególnych granic powstawania wrażeń barw w konkretnej sytuacji. Niemniej jednak wrażliwość barwna jest domeną strefy centralnej. Badania nad progami różnic na poszczególne długości fal widzialnych, wyliczają ich ok. 150. Jednakże wielkości wspomnianych progów są niejednolite (w granicach 1–6 nm) i szczególnie krótkofalowa część widma jest zniekształcona. Objawia się to relatywnym pogorszeniem spostrzegania drobnych sygnałów niebieskich.

STRUKTURA PÓŁ RECEPCYJNYCH

Obraz w literaturze nie jest jednoznaczny, co prawdopodobnie jest następstwem niejednolitego sposobu⁴ rozumienia nazwy pole recepcyjne.

Otóż jeżeli zgodzimy się, że pole: 1) jest powierzchnią, z której zebrane oświetlenie jest samodzielnym szlakiem wprowadzone na drogę wzrokową, to pola takie będą stanowiły wszystkie czopki strefy centralnej. Dodatkową okolicznością posiadania przez takie jednokomórkowe pole swojej własnej drogi do mózgu jest ochrona przed modyfikacją sygnału w trakcie przesyłania.

Natomiast jeżeli przyjęty sposób rozumienia akcentuje, iż pole: 2) zbiera i w jakiś sposób „uśrednia” wpływy z podporządkowanej sobie strefy, podejście owo rezerwuje oczywiście pola recepcyjne wyłącznie dla strefy peryferyjnej, a wraz z nimi mechanizm pobudzenia/hamowania obocznego, z którym owo „uśrednianie” jest związane. Z kolei wspomniany mechanizm wymaga aktywności komórek poziomych. A te komórki występują tylko na obszarze peryferyjnym.

Już na zewnętrznym pierścieniu plamki żółtej pojawiają się pola recepcyjne liczące po kilkanaście komórek światłoczułych i średnicę kilku minut. W kierunku brzegu siatkówki liczebność komórek wzrasta do około tysiąca, a średnica do kilkudziesięciu minut. Padający na obszar pola recepcyjnego fragment obrazu siatkówkowego pobudza wprawdzie swymi zróżnicowanymi szczegółami receptory do zindywidualizowanej reakcji, jednakże z pola zostaje odprowadzona reakcja uśredniona. Zatem informacja o szczegółach zostaje utracona, a wraz z powiększaniem się powierzchni pól recepcyjnych maleje szansa na odwzorowanie detali, czyli ostrość widzenia. Jednakże korzyścią jest sumowanie pobudzeń związanych z natężeniem padającego światła, czyli byłby to dodatkowy autonomiczny mechanizm warunkujący wzrost wrażliwości strefy peryferyjnej na światło.

Czopki i pręciki, których jest średnio kilkadziesiąt razy więcej, wspólnie tworzące pole recepcyjne, mają różne warunki adaptacji do światła. Są aktywne równocześnie tylko w warunkach widzenia mezopowego. Natomiast w widzeniu fotopowym w polu recepcyjnym aktywne są w zasadzie tylko czopki, ponieważ pręciki wskutek nadmiaru światła mają kłopoty z resyntezą rodopsyny. I odwrotnie: w widzeniu skotopowym aktywne są wyłącznie pręciki, ponieważ czopki nie otrzymują wystarczającej ilości energii, aby uruchomić mechanizm transformacji fotochemicznej. Zatem można powiedzieć, że oświetlenie modyfikuje ilość aktywnych komórek w polach recepcyjnych, przy niezmienionej ich powierzchni.

⁴ Zasygnalizowany tu problem niejedności rozumienia widoczny jest np. w podręczniku F. H. Adlera (1968) referującym prace badawcze z lat 50. i 60. W późniejszej literaturze rozpowszechniło się rozumienie (2), np. P. H. Lindsay, D. A. Norman (1984), T. Marek (1985).

WYODRĘBNIANIE KONTURÓW

Mechanizm wyodrębniania konturów (Lindsey, Norman 1984) oparty jest na efekcie hamowania/torowania obocznego. Poprzednio wspomniano, że występuje tylko w strefie peryferyjnej siatkówki, ponieważ wymaga połączeń poprzecznych w strukturze tkanki. Połączenia te realizowane są przez komórki poziome (amakrynowe i horyzontalne), a te zaczynają występować dopiero poza plamką żółtą.

Efektem jest wzmocnienie konturów, na których osadzają się w większości punkty fiksacji podczas obserwowania. Jest to korzystny mechanizm właśnie dla peryferii, której w udziale przypada posługiwanie się jakby szkicem czy mapą konturową obrazu dla wsparcia sukcesywnego pobierania fragmentów przez centrum. Jest to w pewnym sensie prosty mechanizm selekcyjny, a podkreślenie świetlne konturów prawdopodobnie częściowo rekompensuje osłabienie ostrości peryferii.

WRAŻLIWOŚĆ NA RUCH

Komórki poziome powodujące transmisję, ale także detekcję rozprzestrzeniania się pobudzenia w poprzek włókien osiowych siatkówki, są bazą mechanizmu detekcji ruchu, czyli przemieszczania się elementów na obrazie siatkówkowym. Zatem mechanizm dotyczy widzenia peryferyjnego i służy generowaniu informacji o przemieszczeniach, które jako wyjątkowo istotne wymuszają odruchowo ich wprowadzenie w strefę centralną.

Od tego mechanizmu zależy także inicjowanie ruchów ciągłych oczu: podążających – niewątpliwie, a co do kompensacyjnych nie ma pewności, ponieważ wiadomo, że błędnik ma tu swój udział.

KONSEKWENCJE GEOMETRYCZNEJ BUDOWY GAŁKI OCZNEJ

Siatkówka jako ekran posiada niezbyt typowy dla swej funkcji kształt głębokiej czaszy. Obraz padający na taki ekran ulega niejednorodnym zniekształceniom geometrycznym, proporcjonalnym do odległości od środka wyznaczonego przecięciem osi optycznej z ekranem. W takiej sytuacji odwzorowanie w strefie centralnej jest uprzywilejowane w stosunku do pozostałej powierzchni.

Na to zjawisko ma korygujący wpływ kilka mechanizmów fizycznych zagnieżdżonych w strukturze oka. Przede wszystkim wpływy aberracji sferycznej i chromatycznej nasilają się wraz z oddaleniem promienia od osi optycznej

układu. Zatem pod tym względem obraz peryferii jest zniekształcany szczególnie. Podobny efekt wiąże się z dystorsją (Młodkowski 1998).

Trzeba jednak podkreślić, że znany efekt poprawiania się ostrości wraz z widzeniem, zarówno w aspekcie rozróżniania szczegółów, jak i głębi, który jest następstwem zwężenia źrenicy, w pewnej mierze wpływa korygująco na skutki wyżej wspomnianych mechanizmów. Podobny, choć prawdopodobnie niewielki, wpływ mają właściwości refrakcyjne samego układu optycznego, skojarzonego i dopasowanego przez naturę z kulistym ekranem w obrębie jednego narządu.

WIDZENIE PRZESTRZENNE

W widzeniu przestrzennym uczestniczą obydwie kompletne strefy centralne i tylko po ok. 60% powierzchni każdej ze stref peryferyjnych. Tylko na tych obszarach występują punkty korespondencyjne. Ale niewątpliwie ważniejszą sprawą są właściwości horoptera, który jest okręgiem przechodzącym zawsze, w każdym położeniu oka, przez wspólny dla obydwu gałek punkt fiksacji oraz miejsca obrotu obydwu oczu. Te trzy punkty wyznaczają płaszczyznę horoptera, która zawsze przechodzi przez strefy centralne siatkówek. Równocześnie wyznaczają na jej obwodzie za każdym razem inny fragment peryferyjnego pola widzenia i inną część peryferyjnej strefy siatkówki, które ten horopter uzupełniają.

Otoczająca horopter strefa Panuma wyznacza progi zainicjowania stereopsji. Dla centrum wynosi on 2–5'', natomiast dla peryferii siatkówki 10–40'', proporcjonalnie więcej w kierunku brzegu.

Widać zatem, że w mechanizmie widzenia przestrzennego pod każdym względem uprzywilejowane jest widzenie centralne.

REPREZENTACJA W KORZE PROJEKCYJNEJ

Przed wszystkim warto podkreślić, że w skrzyżowaniu wzrokowym jedynie dwie trzecie włókien przechodzi na przeciwną stronę. Obsługują one w pełni powierzchnię widzenia centralnego, które tym samym posiada reprezentację w obydwóch półkulach. Natomiast każda ze stref peryferyjnych reprezentowana jest heterolateralnie w ok. 60% powierzchni, tej samej, która tworzy widzenie przestrzenne.

Z badań niemowląt i małych dzieci wynika, że efekt widzenia lunetowego jest u nich szczególnie nasilony wskutek powolnego włączania się czynności strefy peryferyjnej (Starkiewicz 1969). Niezależnie od tego ostrość widzenia, oceniana dla centrum, uzyskuje normę w 4. roku życia (Starkiewicz 1969),

a nawet w 7. roku, przy czym procesy dojrzewania całego układu trwają do 15 lat. Między wczesnym dzieciństwem a młodością rozróżnialność barw poprawia się o 90%, a wrażliwość na natężenie światła polepsza się ponad 2-krotnie (Wilczek, Krzystkova 1971).

Powyższe efekty są następstwem rozwojowego wzbogacania struktury kory wzrokowej. Ilość neuronów może się jedynie zmniejszać, ale poza przypadkami poważnej patologii powinny pozostać nienaruszone podstawowe proporcje, poważnie uprzywilejowujące widzenie centralne. Wzrokowa kora projekcyjna (pole 17 Brodmanna) stanowi nieco ponad 16% całej kory i dysponuje blisko 400 cm² powierzchni. Przy powierzchni siatkówki ca 12 cm² daje to stosunek 1:35. Natomiast jeżeli przyjąć, że dołek centralny stanowi 0,3% siatkówki, a jest reprezentowany na połowie kory projekcyjnej, to otrzymamy stosunek 1:11 000⁵.

Reprezentacja korowa widzenia centralnego zajmuje tylny biegun każdej z półkul, czyli samą ostrogę bruzdy ostrogowej. Sygnał EEG odprowadzony ze strefy wspomnianego bieguna, uzyskany metodyką potencjałów wywołanych, pozwala wyodrębnić w fali a dwa charakterystyczne kształty nazwane komponentami: C¹ i C². Jeszcze w latach 60. ubiegłego stulecia ustalono, że fale te pojawiają się jako komponenty stanu podwyższonej koncentracji uwagi percepcyjnej na bodźce wzrokowe. Ale, manipulując luminancją sygnałów, dostrzeżono również, że można komponent C¹ uznać za związany z widzeniem fotopowym, czyli strefą widzenia centralnego, natomiast C² ze strefą peryferyjną.

Komentując powyższe informacje F. H. Adler (1968, s. 701) pisze:

Może się wydawać dziwne, że w korze mózgowej odzwierciedla się czynnościowe zróżnicowanie pomiędzy dołkiem środkowym a siatkówką obwodową, ale należy pamiętać, że reprezentacja anatomiczna tych dwu części siatkówki jest w korze oddzielna, przy czym dołek środkowy zlokalizowany jest dokładnie w najdalszym krańcu bruzdy ostrogowej. Ponadto te dwa mechanizmy są rozdzielone we wszystkich częściach drogi wzrokowej od dołka środkowego do kory mózgowej. Wreszcie – u większości osób falę C¹ można odprowadzić tylko z najdalszego bieguna potylicznego [...].

ZRÓŻNICOWANE REAKCJE NA STRES

W warunkach stresu harmonia współdziałania stref centralnej i peryferyjnej bywa czasem naruszona, co popiera koncepcję odmiennych mechanizmów, w różnym stopniu odpornych na zakłócenia.

Fizyczną podstawą zachodzących efektów bywa często przyspieszenie, które przyczynia się do niejednolitego, z racji zróżnicowania ciężaru właściwego

⁵ W literaturze najczęściej wspomina się wielkość 1:10 000 podaną przez S. A. Talbota i W. H. Marshalla (Adler 1968; Keidel 1971; Palacz 1986).

i struktury, przeciążenia poszczególnych narządów. Szczególnie podatna jest krew przemieszczana w naczyniach i tracąca możliwość normalnego utleniania tkanek. Dla widzenia także ważne są mięśnie oczu. Zablockowanie zdolności ich skurczów, a chociażby precyzji antagonistycznej koordynacji, blokuje mechanizm współpracy centrum/peryferia. R. Błoszczyński (1977, s. 18) podaje, że typowa ostrość wzroku mieszcząca się w przedziale 0,5–1', w warunkach lotu spada do 3' przy patrzeniu na wprost, do 10' przy odchyleniu spojrzenia o 10° i do 24' przy patrzeniu w bok pod kątem 30°.

Oprócz natężenia przyspieszenia ważny jest jego kierunek związany z ułożeniem organizmu w stosunku do kierunku przemieszczania się. Najlepiej tolerowane są skutki przyspieszeń o poprzecznie ustawionej osi ciała, najgorzej – o równoległej osi, przy czym wariantem gorszym jest tzw. ujemny, gdy głowa jest zwrócona w kierunku przemieszczenia. Otóż w każdym przypadku trudności z widzeniem zaczynają się od ok. 2 g⁶, natomiast utrata widzenia następuje w pierwszym przypadku przy 14 g, w drugim przy 5 g, a w trzecim (ujemnym) tylko 4 g⁷. Jednakże zjawisko nie jest jednolite, bo najpierw zdeorganizowane zostaje widzenie peryferyjne w postaci stopniowego i konsekwentnego zawężania się pola widzenia. O. Palacz (1986, t. 1, s. 72) wskazuje na genezę tego stanu: „Czopki są mniej wrażliwe na niedotlenienie niż pręciki. Działanie dużych sił odśrodkowych (np. u pilotów) powoduje niedotlenienie głowy i tym samym siatkówki, wykazuje najpierw utratę widzenia obwodowego z zachowaniem widzenia plamkowego”.

Natomiast w innych badaniach przy przeciążeniu 1,5 g (Kitajew-Smyk 1989) zaburzeń ostrości widzenia także nie stwierdzono, ale pojawiły się drobne zakłócenia w subtelnym rozpoznawaniu barw, ze szczególnym upośledzeniem błękitów i żółci.

Innym mechanizmem, mającym wyraźny wpływ na centrum i peryferie, jest silne napięcie emocjonalne. Zawężenie pierścienia peryferii staje się w tych warunkach o tyle prawdopodobne, że podczas percepcji złożonej występuje wyraźnie więcej skokowych ruchów naprowadzających, natomiast o znacznie mniejszej amplitudzie, jakby do dyspozycji był tylko fragment peryferyjnego pola widzenia.

Przedstawiając poszczególne kryteria różnicujące widzenie centralne i peryferyjne eksponowałem niemalże dialektycznie ich funkcje, szczególnie wyodrębniając wzajemne różnice. Wydaje się to korzystne dla ich lepszego zrozumienia. Jednakże na zakończenie wypada przypomnieć, ponownie podkreślić, że te przeciwstawne właściwości uzupełniają się równomiernie, a cały mechanizm działa harmonijnie i w wysokim stopniu niezawodnie.

⁶ Empiryczna jednostka przyspieszenia g w warunkach Ziemi wynosi 9,8 m/s² bez uwzględnienia oporu powietrza i stanowi współczynnik przy przeliczaniu wielkości ciężaru pozornego powstającego wskutek przeciążenia.

⁷ Podobny efekt – znacznie częściej spotykany i nie wymagający kosmicznych warunków – występuje podczas ortostatycznego spadku ciśnienia krwi.

BIBLIOGRAFIA

- Adler F. H. (1968), *Fizjologia oka*, PZWL, Warszawa
- Błoszczyński R. (1977), *Psychologia lotnicza*, Wydawnictwo MON, Warszawa
- Ditchburn R. W. (1973), *Eye-movements and Visual Perception*, Clarendon Press, Oxford
- Guilford J. P. (1978), *Natura inteligencji człowieka*, PWN, Warszawa
- Keidel W. D. (1971), *Sinnesphysiologie*, Springer-Verlag, Berlin
- Kitajew-Smyk L. A. (1989), *Psychologia stresu*, Ossolineum, Wrocław
- Kulikowski J. J. (1969), *Warunki graniczne percepcji wzrokowej*, Prace Instytutu Automatyki PAN, Warszawa
- Lindsay P. H., Norman D. A. (1984), *Procesy przetwarzania informacji u człowieka*, PWN, Warszawa
- Marek T. (1985), *Psychofizjologiczne mechanizmy wzrokowej percepcji bodźców*, Wydawnictwo UJ, Kraków
- Młodkowski J. (1998), *Aktywność wizualna człowieka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- Mondelski T. (1986), *Siatkówka i jej choroby*, [w:] W. J. Orłowski (red.), *Okulistyka współczesna*, PZWL, Warszawa
- Padgham C. A., Saunders J. E. (1975), *The Perception of Light and Colour*, Bell & Sons Ltd., London
- Palacz O. (1986), *Układ wzrokowy i jego podstawowa funkcja – proces widzenia*, [w:] W. J. Orłowski (red.), *Okulistyka współczesna*, PZWL, Warszawa
- Starkiewicz W. (1969), *Fizjologiczne podstawy przestrzennych wrażeń wzrokowych ze szczególnym uwzględnieniem tworzenia normalnego widzenia dwuocznego u zezujących*, PZWL, Warszawa
- Wilczek M., Krzystkova K. (1971), *Nowoczesne leczenie zezu*, PZWL, Warszawa
- Woodworth S. H., Schlosberg H. (1966), *Psychologia eksperymentalna*, PWN, Warszawa

JAN MŁODKOWSKI

**THE ANTINOMY OF CENTRAL
AND PERIPHERAL AREA IN HUMAN VISION PROCESS**

The background of this phenomenon is the anatomical unhomogeneity of retina, seen in displacement of rods and cones. In the text, the following consequences of these conditions, different for central and peripheral zone, were mentioned:

- visual acuity,
- sensibility for light intensity,
- sensibility for light wavelength,
- existence and properties of receptive fields,
- extraction of contours in images,
- sensitivity of movement and changes in visual field,
- geometrical properties of eye ball,
- binocular vision,
- representation in visual projection cortex,
- sensibility for stress.