

## **Sprawność funkcjonalna receptora wzrokowego w warunkach ograniczonego doświetlenia – metoda i pomiar.**

---

**Wojciech Korchut** - GPE Psychotronics Tychy

**Ryszard Cibor** - Wyższa Szkoła Humanitas Sosnowiec

**Zbigniew Damijan** - Akademia Górniczo Hutnicza Kraków

**Jakub Paszulewicz** - Uniwersytet Jagielloński Kraków

### **Wprowadzenie.**

Panuje dość powszechne przekonanie, że człowiek na skutek pobudzenia zmysłów przez docierające do niego bodźce, spostrzega zewnętrzny świat dokładnie takim jaki on jest w rzeczywistości. Prezentowane stanowisko często spotykamy podczas prowadzonych badań – osoby badane są przekonane, iż rzeczywistość wygląda tak jak jest przez nie postrzegana. A przecież różnice w wynikach, uzyskanych podczas rozmaitych badań temu przeczą. Opiswane zjawisko znakomicie ilustruje badanie widzenia przestrzennego przy pomocy stereometru /Korchut 2008/. Nie często zdarza się by osoby badane ustawiły pręty pomiarowe w takiej samej odległości od pręta wzorcowego. Pobudzenie układów sensorycznych to nie jedyny element procesów percepcyjnych. Docierające do mózgu informacje podlegają ciągłej interpretacji, Są „konfrontowane” z dotychczasową wiedzą /doświadczeniem/. Z części doznań, wniosków, interpretacji, porównań powstaje złożona, harmonijna całość obrazu postrzeganej rzeczywistości. Zatem proces percepcji to proces tworzenia wewnętrznej reprezentacji otoczenia podmiotu w strukturze mózgu (Górska i in.2000). Ten sam obraz człowieka idącego poboczem drogi nocną porą będzie inaczej spostrzegany przez jadącego z naprzeciwka kierowcę samochodu ciężarowego, inaczej przez pasażera autobusu a jeszcze inaczej przez spieszącego się do pracy rowerzystę. Tak więc analiza odebranych doznań to proces daleko przekraczający próg dostarczanych informacji<sup>1</sup>.

Szczególne znaczenie ma percepcja wzrokowa w obsłudze urządzeń znajdujących się w ruchu. O efektywności i skuteczności działania decyduje tu ilość, szybkość i precyzja przetwarzania informacji. Im szybszy ruch, tym wyższe wymagania w stosunku do mechanizmu percepcji. Dodatkowe wymagania stwarzają sytuacje, w których percepcja jest utrudniona. Takimi sytuacjami w odniesieniu do kierowania pojazdami są sytuacje nieodpowiedniego oświetlenia (za mało - za dużo) wywołujące określone reakcje psychofizjologiczne analizatora wzrokowego. Szczególne znaczenie ma zjawisko tzw. olśnienia powodowane w nocy przez pojazdy jadące z naprzeciwka, lub promienie słońca nieoczekiwanie wpadające do kabiny kierowcy. Czas jaki upływa od momentu olśnienia do ponownej sprawności recepcyjnej ma znaczący wpływ na bezpieczeństwo. Prowadzenie pojazdu w warunkach ograniczonej ekspozycji bodźców świetlnych (zmerch, noc, jazda

---

<sup>1</sup> „...rezultatem percepcji jest interpretacja świata, a nie jego wierna reprezentacja”. (Zimbardo i in., 2010, s. 96).

w tunelu) wymaga z kolei określonej czułości (dolny próg wrażliwości) analizatora wzrokowego. Pomiar tych dwóch zmiennych ma zatem istotne znaczenie w ocenie możliwości kierowcy i może być podstawą do decyzji selekcyjnych.

Prace badawcze nad tymi zjawiskami rozpoczęto od opracowania urządzenia, które umożliwiłoby dostosowanie parametrów eksponowanych bodźców do specyfiki badania przy jednoczesnym ograniczeniu wpływu przedstawionych powyżej czynników /indywidualności/ na sprawność receptora wzrokowego.

### **Metoda.**

W badaniach sprawności wzroku w przestrzeni z ograniczonym dostępem światła zastosowano specjalnie skonstruowane urządzenie o nazwie Noktoscop, a docelowo jego poprawioną wersję NC - 03 oryginalną i pozbawioną zapożyczeń. Jest to nowe rozwiązanie metodologiczne i konstrukcyjne. Poza tradycyjnie stosowanymi optotypami<sup>2</sup>, został wyposażony we własny, oryginalny optotyp, oparty na samogłoskach języka polskiego.

W dostępnej literaturze brak wzmianek o stosowaniu znaków graficznych samogłosek do badania sprawności percepcyjnej receptora wzrokowego w warunkach ograniczonego doświetlenia. W diagnostyce psychologicznej oraz okulistyce, badającej funkcje widzenia w mroku stosuje się głównie dwa rodzaje optotypów. Pierwszy z nich, określony od nazwiska twórcy pierścieniem Landolta, zatwierdzony w roku 1909 na Międzynarodowym Kongresie Oftalmologicznym służy do określenia progu wrażliwości wzrokowej. Bywa też wykorzystywany do badania ostrości widzenia.

Drugi z nich – optotyp Kolta, to ciąg czterech figur i znaków graficznych /trójkąt, kwadrat, koło oraz krzyż/. Jest wykorzystywany w badaniach sprawności receptora wzrokowego po naświetleniu światłem białym. Optotyp oparty na samogłoskach to projekt firmy GPE Psychotronics. Samo urządzenie (Rys. 1) składa się z dwóch podstawowych elementów – panelu sterującego oraz części ekspozycyjnej.

Przy pomocy panelu odbywa się ustawianie parametrów ekspozycyjnych bodźców:

- wielkości eksponowanych figur lub znaków graficznych,
- natężenia światła,
- długości ekspozycji;

a także programowanie procesu badawczego:

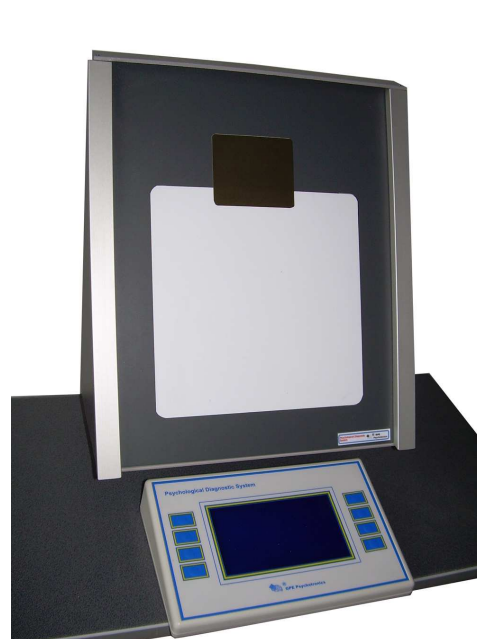
- rodzaju optotypu,
- kolejności ekspozycji,
- ilości pomiarów.

---

<sup>2</sup> Optotyp to zestaw zróżnicowanych znaków graficznych, umożliwiających badanie sprawności wzroku.

Dzięki wbudowanej pamięci oraz zastosowaniu monitora graficznego istnieje możliwość kontroli przebiegu badania oraz uzyskanych wyników zarówno w formie liczbowej: wyniki średnie oraz cząstkowe a także w formie graficznej: tabele i wykresy. Część ekspozycyjna to monitor do naświetlania oczu tzw. światłem białym<sup>3</sup> oraz monitor do ekspozycji optotypów. W części ekspozycyjnej znajduje się również klucz reakcyjny dla osoby badanej. W przypadku badania progu widzenia, dotychczasowa metoda zakładała stopniowe rozświetlenie obszaru /pomieszczenia/, w którym znajduje się postrzegany element optotypu. W opisywanym urządzeniu to tło /ekran/, na którym znajduje się element optotypu ulega rozświetleniu. Dzięki tej metodzie uzyskujemy powtarzalność warunków eksperymentu /badania/ co pozwala na unifikację norm.

Podczas naświetlania oczu prosimy osobę badaną o czytanie naklejonych na ekran liter. Z oczywistych powodów stosowana procedura nie pozwala na pełną kontrolę nasycenia oka światłem. W Noktoscopie badany czyta znaki wyświetlane w sposób losowy na ekranie naświetlającym, zaś badający na panelu sterującym kontroluje te same znaki z półsekundowym opóźnieniem. Również ekspozycja optotypu jest generowana elektronicznie na monitorze LCD. Taka procedura w znaczący sposób wpływa na obiektywizację prowadzonego badania. Dodatkowo urządzenie zostało wyposażone w paskowy test różnicowania barw, który w przeprowadzonym badaniu nie był stosowany. Opisane urządzenie umieszczono w ciemni kabinowej o wymiarach: 120 cm x 80 cm x 190 cm Kabinę dodatkowo wyposażono w wentylację elektryczną oraz system audio/video, służący do podglądu oraz komunikacji z badanymi osobami.



Rys.1  
Noktoscop typ NC - 03

<sup>3</sup> W skład widma światła białego wchodzi od dwóch barw prostych czyli długości (częstotliwości) fal elektromagnetycznych z zakresu fal widzialnych.

## Przebieg badań.

Badaniami objęto grupę 135 osób będących w wieku 20 do 68 lat - średnia wieku wyniosła 34,1 lat; w tym:

- 23 kobiety w wieku od 22 do 57 lat – średnia wieku to 34,8 lat;
- 112 mężczyzn w wieku od 20 do 68 lat – średnia wieku 37,7 lat.

Grupę badanych stanowiły osoby, które wykonywały zawód kierowcy oraz osoby kierujące pojazdami w celach służbowych. Tak więc były to osoby poświęcające dużą liczbę godzin na prowadzenie pojazdów.

Badanie miało charakter indywidualny. Każdej z badanych osób demonstrowano funkcjonowanie urządzenia oraz udzielono informacji o przebiegu badania. Ponieważ badanie było poprzedzone adaptacją wzroku do ciemności, pytano również o reakcję na pobyt w małym, całkowicie zaciemnionym pomieszczeniu<sup>4</sup>.

W badaniach, które są prowadzone w pracowniach psychologicznych stosuje się 15 – minutowy czas adaptacji do mroku. W naszych badaniach ten czas wynosił 7 minut. Okazało się, że po 7 minutach adaptacji receptory wzrokowe są tak samo „wytłumione” jak przy adaptacji 15 minutowej. Oczywiście należy wykluczyć przypadki skrajne jak np. wykonywanie prac spawalniczych czy też przebywanie w nasłonecznionym miejscu bezpośrednio przed badaniem.

Skrócono również czas naświetlania oczu z 30 do 15 sekund. Po 15 sekundach oko jest w takim samym stopniu „nasycone” światłem jak po 30.

Zastosowanie powyższych parametrów było efektem przeprowadzonych wcześniej badań pilotażowych.

Pierwszym zadaniem była intensywna obserwacja części ekspozycyjnej urządzenia – w momencie rozpoznania pozycji szczeliny w prezentowanym pierścieniu osoba badana naciskała przycisk klucza reakcyjnego informując jednocześnie jakiej godzinie na tarczy zegara odpowiada pozycja szczeliny prezentowanego pierścienia. Wynikiem badania była umowna jednostka światła przypisana wartości elektrycznej jego natężenia w momencie reakcji – dolny próg wrażliwości wzrokowej L.

Drugim zadaniem było poddanie się naświetlaniu oczu, emitowanym z ekranu światłem. Aby proces naświetlania był skuteczny, osoba badana czytała głośno emitowane na ekranie zmieniające się litery alfabetu. Te same litery pojawiały się z niewielkim opóźnieniem na monitorze panelu sterującego. Badający miał zatem możliwość kontroli procesu naświetlania.

---

<sup>4</sup> Żadna z badanych osób nie sygnalizowała reakcji tego typu.

Po zakończeniu naświetlania w miejscu ekspozycji liter pojawiał się znak graficzny /koła, kwadratu, krzyżyka, trójkąta/<sup>5</sup>. Po dostrzeżeniu i identyfikacji znaku osoba badana naciskała przycisk klucza reakcyjnego mówiąc jednocześnie, co zobaczyła. Wynikiem badania był czas jaki upłynął pomiędzy wygaszeniem ekspozycji a reakcją osoby badanej – pomiar właściwości adaptacji receptora wzrokowego po naświetleniu N.

Istotnym elementem procedury badawczej było określenie poziomu kontrastu w zastosowanym urządzeniu. Światło odbite od spostrzeganych obiektów – np. innych użytkowników dróg wraca do fotoreceptorów z różnym natężeniem. Dzięki temu jesteśmy w stanie określić odległość, jaka dzieli nas od obiektu a także jego wielkość<sup>6</sup>. W przypadku małego doświetlenia otoczenia, różnice w kontraście obrazu będą minimalne utrudniając percepcję, ponieważ zgodnie z teorią informacji najwięcej treści w obrazie niosą krawędzie (Frith, 2011), dlatego tak ważnym było ustawienie właściwego kontrastu między figurą a tłem.

### **Wyniki.**

W badaniu zostały uwzględnione następujące zmienne:

- dolny próg wrażliwości wzrokowej - optotyp Landolta - zmienna „L”;
- czas adaptacji receptora wzrokowego po naświetleniu - optotyp Kolta - zmienna „N”.

Każda zmienna była mierzona cztery razy.

Obliczono współczynniki korelacji między wartościami dolnego progu wrażliwości wzrokowej a zdolnością adaptowania się wzroku po naświetleniu (Tabela 1).

	N1	N2	N3	N 4	Nśr
L1	0,45	0,69	0,64	0,57	0,69
L2	0,52	0,77	0,65	0,68	0,77
L3	0,43	0,71	0,61	0,66	0,70
L4	0,47	0,75	0,64	0,65	0,74
Lśr	0,50	0,77	0,67	0,68	0,77

*Tabela 1.*

*Korelacje między pomiarami zmiennej „L” i zmiennej „N”:*

<sup>5</sup> Uzyskane wyniki sugerują, że w przypadku figury otwartej jaką jest krzyżyk, czas rozpoznania jest dłuższy, niż w przypadku figur zamkniętych. Może mieć to znaczenie praktyczne np. przy projektowaniu znaków graficznych w sygnalizacji świetlnej, materiałach odblaskowych itp. W firmie GPE Psychotronics jest to przedmiotem aktualnych badań.

<sup>6</sup> Ocena odległości i właściwości obiektu zależy od dwóch systemów wzrokowych: systemu wyspecjalizowanego w widzeniu przestrzennym (gdzie?) - zlokalizowany w korze ciemieniowej tylnej i systemu wyspecjalizowanego w rozpoznawaniu przedmiotów (co?) - zlokalizowany w korze dolnoskroniowej. Por. Milner, Goodale (2008).

	Widzenie w mroku - L				Widzenie po naświetleniu - N			
Średnia	34,14815	26,37037	21,46667	21,78519	4,45443	2,702874	3,554474	2,590289
od. stand.	17,52547	16,80163	12,33778	12,80356	3,165909	1,990349	2,729079	2,414409

Tabela 2.

Wyniki średnie oraz odchylenie standardowe dla każdego z czterech pomiarów

Wszystkie korelacje są istotne na poziomie  $p < 0.01$  i wskazują na wyraźny związek dodatni między dolnym progiem wrażliwości wzrokowej a adaptacją receptora wzrokowego po naświetleniu (im wyższy próg wrażliwości wzrokowej, czyli gorsza czułość analizatora wzrokowego tym dłuższy czas adaptacji po naświetleniu).

Najniższa korelacja występująca w wynikach pierwszej serii może wskazywać, że na wyniki badania mają wpływ dodatkowe zmienne zakłócające (np. różne reakcje osób badanych na „nowość sytuacji”).

Kobiety mają lepsze wyniki w porównaniu z mężczyznami (bardziej wrażliwe na bodźce wzrokowe i szybciej się adaptujące) ale różnice w uzyskanych wynikach nie osiągają istotności statystycznej (Tabela 3) i hipoteza o różnicach między płciami wymaga dalszych badań (m.in. na zwiększonej grupie kobiet).

	Mężczyźni N=112	Kobiety N=23	Wartość „t”	df	Poziom p
L1	34,75893	31,17391	0,892891	133	0,373528
L2	27,34821	21,60870	1,499140	133	0,136207
L3	22,16071	18,08696	1,448222	133	0,149908
L4	22,63393	17,65217	1,711842	133	0,089257
Lśr	26,72545	22,13043	1,436241	133	0,153282
N1	4,63923	3,55452	1,503680	133	0,135035
N2	2,82968	2,08539	1,643835	133	0,102572
N3	3,60994	3,28439	0,519657	133	0,604167
N4	2,69471	2,08183	1,109801	133	0,269087
Nśr	3,44339	2,75153	1,414830	133	0,159455

Tabela 3.

Różnice między grupami wyróżnionymi ze względu na płeć:

Interesujące okazały się porównania wyników w grupach o różnym wykształceniu (wyodrębniono osoby z wyższym i średnim wykształceniem  $N=90$  i osoby z wykształceniem podstawowym oraz zawodowym  $N=45$ ).

Jak wynika z zestawienia w Tabeli 3 prawie wszystkie wyniki istotnie różnicują wyróżnione grupy i to na bardzo wysokim poziomie. Ogólnie można stwierdzić, że osoby ze średnim i wyższym wykształceniem cechuje większa wrażliwość na bodźce wzrokowe

i szybciej adaptują się do sytuacji „oślepienia” w porównaniu z osobami o wykształceniu zawodowym i niższym. Wskazuje to na większą sprawność analizatora wzrokowego, a być może na generalnie bardziej sprawny układ nerwowy ze szczególnym uwzględnieniem CUN, co umożliwiło tym osobom na uzyskanie średniego i wyższego wykształcenia. Warto byłoby zweryfikować tę hipotezę w odniesieniu do innych analizatorów zmysłowych.

	w. wyższe i średnie (N=90)	w. zawodowe i podstawowe (N=45)	Wartość „t”	df	Poziom p
L1	30,77778	40,88889	-3,27250	133	0,001358
L2	23,07778	32,95556	-3,33988	133	0,001088
L3	19,10000	26,20000	-3,26349	133	0,001399
L4	19,80000	25,75556	-2,60200	133	0,010319
Lśr	23,18889	31,45000	-3,34530	133	0,001068
N1	4,15757	5,04816	-1,54880	133	0,123807
N2	2,29652	3,51558	-3,49202	133	0,000651
N3	3,33083	4,00176	-1,35067	133	0,179096
N4	2,17377	3,42333	-2,91280	133	0,004203
Nśr	2,98967	3,99721	-2,63008	133	0,009543

*Tabela 4.*

*Różnice między grupami wyróżnionymi ze względu na wykształcenie:*

Porównano wreszcie osoby młodsze ze starszymi. W tym celu dokonano podziału grupy w punkcie mediany otrzymując grupę „młodszych” (20 – 31 lat) i „starszych” (32 – 68 lat).

	„Młodszy” N=66	„Starszy” N=69	Wartość „t”	df	Poziom p
L1	26,39394	41,56522	-5,56099	133	0,000000
L2	20,40909	32,07246	-4,28507	133	0,000035
L3	16,71212	26,01449	-4,71299	133	0,000006
L4	17,12121	26,24638	-4,41594	133	0,000021
Lśr	20,15909	31,47464	-5,10301	133	0,000001
N1	3,62758	5,24533	-3,05902	133	0,002686
N2	1,97858	3,39568	-4,41084	133	0,000021
N3	2,90641	4,17436	-2,76454	133	0,006510
N4	1,90803	3,24288	-3,32976	133	0,001125
Nśr	2,60515	4,01457	-4,02918	133	0,000094

*Tabela 5.*

*Różnice między grupami wyróżnionymi ze względu na wiek.*

Wyraźnie widać z przytoczonych danych (Tabela 5), że wyniki osób „starszych” są wyraźnie gorsze w porównaniu z osobami „młodszymi” (statystycznie istotne na wysokim poziomie,  $p < 0.001$ ), co jest zgodne z danymi pochodzącymi z innych źródeł.

Korzystając z zebranych pomiarów opracowano prowizoryczne, wstępne normy dla:

- dolnego progu wrażliwości wzrokowej (pomiar za pomocą pierścienia Landolta – Tabela 6);
- czasu adaptacji receptora wzrokowego (pomiar za pomocą Noktometru - Tabela 7).

Wynik surowy	Sten
11 i mniej	10
12	9
13	8
14 – 17	7
18 – 21	6
22 – 27	5
28 – 37	4
38 – 49	3
50 - 60	2
61 i więcej	1

*Tabela 6.*

*Normy stenowe dla dolnego progu wrażliwości wzrokowej (pierścień Landolta) - wyniki średnie z czterech pomiarów. Wyniki są prezentowane w umownych jednostkach światła, przypisanych do odpowiadającego im napięcia elektrycznego użytego do ekspozycji optotypu.*

Wynik surowy	Sten
1,0 i mniej	10
1,1 – 1,2	9
1,3 – 1,4	8
1,5 – 1,8	7
1,9 – 2,5	6
2,6 – 3,6	5
3,7 – 5,1	4
5,2 – 6,9	3
7,0 – 7,7	2
7,8 i więcej	1

*Tabela 7*

*Normy stenowe dla czasu adaptacji receptora wzrokowego po naświetleniu (Noktometr) - wyniki średnie z czterech pomiarów.*



Właściwości skali stenowej pozwalają interpretować poszczególne wyniki w następujący sposób:

- wyniki zawarte w przedziale: 5 – 6 sten traktuje się jako przeciętne;
- wyniki z przedziału: 7 - 10 sten uważa się za niskie;
- wyniki w przedziale: 1 - 4 sten oceniane są jako wysokie (por. Brzeziński, 1996).

Im wyższy wynik tym większe ryzyko kierowania pojazdem związane z przerwaniem dopływu informacji wzrokowych. W prezentowanej poniżej tabeli przedstawiono potencjalne odległości jakie przebywa kierujący pojazdem po naświetleniu receptora wzrokowego w stanie ograniczonej percepcji.

Wynik pomiaru Noktometru	Prędkość samochodu	
	50 km/ godz.	100 km/ godz.
1,0 i mniej	13,8 m	27,6 m
1,1 – 1,2	15,2 m	30,4 m
1,3 – 1,4	19,6 m	39,2 m
1,5 – 1,8	24,9 m	49,9 m
1,9 – 2,5	34,8 m	69,6 m
2,6 – 3,6	49,9 m	99,7 m
3,7 – 5,1	70,6 m	141,3 m
5,2 – 6,9	95,2 m	190,4 m
7,0 – 7,7	108,7 m	217,5 m
7,8 i więcej	186,3 m	372,6 m

*Tabela 8*

*Zestawienie czasu adaptacji receptora wzrokowego po naświetleniu z długością przejechanej drogi /wyrażonej w metrach/ w zależności od prędkości samochodu.*

Biorąc pod uwagę, że przy prędkości 100 km/godz. częściej są używane światła „drogowe” mające zasięg ok. 100 metrów, należy uznać, że wynik pomiaru w zakresie 4 – 1 stenu wskazuje na niebezpieczeństwo utraty kontroli nad sytuacją drogową. W przypadku prędkości 50 km/godz. częściej używa się świateł „mijania” o zasięgu ok. 50 metrów, a zatem podobnie jak w poprzednim przypadku, wynik w zakresie 4 – 1 stenu jest alarmujący.

Dokonując interpretacji uzyskanych wyników trzeba jednak pamiętać, że zostały one uzyskane w warunkach laboratoryjnych, które znacznie odbiegają od warunków naturalnych jakie panują na drodze i w kabinie kierowcy. Nieznane są faktycznie występujące podczas jazdy natężenia bodźców świetlnych generowanych przez nadjeżdżające samochody, różne są

także parametry oświetlenia otoczenia, inne np. na jasno oświetlonych ulicach miejskich, inne na drogach pozamiejskich o słabym natężeniu ruchu.

W naturalnych warunkach kierowca oceniając sytuację na drodze dokonuje ponadto ciągłych interpolacji percypowanych warunków, przewidując rozwój wydarzeń (inaczej te przewidywania wypadają np. na pustej drodze za miastem, przy małym natężeniu ruchu, inaczej w ruchliwym centrum miasta) i nastawia się na określony sposób reagowania (hamowanie, wymijanie itp.).

Należałoby przeprowadzić odpowiednie badania w tym zakresie i skorelować uzyskane wyniki z tymi jakie uzyskiwane są w laboratoriach psychologicznych. Już teraz można uwrażliwiać kierowców, którzy uzyskują gorsze wyniki w odniesieniu do omawianych zmiennych, na warunki jazdy nocnej, jako bardziej dla nich niebezpieczne<sup>7</sup>.

### **Literatura cytowana.**

1. Brzeziński J., Metodologia badań psychologicznych. Warszawa 1996. Wydawnictwo Naukowe PWN.
2. Frith Ch., Od mózgu do umysłu. Warszawa 2011. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.
3. Górka T., Grabowska A., Zagrodzka J., Mózg z zachowanie., Warszawa 2000. Wydawnictwo Naukowe PWN.
4. Korchut M.W., Stereopsja – szkic monograficzny, Poznań 2006
5. Milner A.D., Mózg wzrokowy w działaniu. Warszawa 2008. Wydawnictwo Naukowe PWN.
6. Nęcka E., Orzechowski J., Szymura B., Psychologia poznawcza. Warszawa 2007. Wydawnictwo Naukowe PWN.
7. Zimbardo P.H., Johnson R.L., McCann V., Psychologia. Kluczowe koncepcje. T.3. Warszawa 2010. Wydawnictwo Naukowe PWN.

---

<sup>7</sup> Podobnie można postępować w odniesieniu do innych wyników, np. pomiaru czasu reakcji.