Adam Tarnowski
Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej

WIDZENIE ZMIERZCHOWE A BEZPIECZEŃSTWO NA DROGACH

Artykuł prezentuje przegląd teoretycznych koncepcji i wyników badań dotyczących znaczenia sprawności widzenia w warunkach zmniejszonej jasności oświetlenia dla prawidłowego wykonywania czynności kierowcy. Zarysowany jest związek pomiędzy procesami uwagi a widzeniem zmierzchowym- jako podstawa wyjaśniania błędu człowieka w tym obszarze. Omówiono relację pomiędzy sprawnością widzenia zmierzchowego a spostrzeganiem kontrastu, progiem widzenia nocnego, wrażliwością na olśnienie oraz czasem readaptacji. Zaprezentowano szereg badań dotyczących związku pomiędzy widzeniem zmierzchowym (głównie wrażliwością na kontrast) a wypadkowością. Omówiono implikacje dla praktyki badania funkcji wzrokowych u kierowców.

TWILIGHT VISION AND ROAD SAFETY

The article presents an overview of theoretical concepts and research findings on the importance of efficiency of vision in reduced illumination conditions for the performance of drivers. The relationship between the processes of attention and seeing in the twilight has been outlined, as the basis for explaining human error in this area. The relationship between the efficiency of view of twilight and contrast perception, night vision threshold, sensitivity to glare, and re-adaptation time has been discussed. A number of studies on the relationship between twilight vision (mainly contrast sensitivity) and the accident rate has been discussed. The implications for the practice of visual function tests for drivers.

Wprowadzenie

Widzenie w warunkach nocnych różni się w istotny sposób od widzenia dziennego. Na siatkówce człowieka znajdują się dwa rodzaje komórek światłoczułych- czopki (aktywne w świetle dziennym) i pręciki (aktywne po zmierzchu). Ich rozmieszczenie na obszarze siatkówki jest zdecydowanie nierównomierne (czopki skupione są w centrum, pręciki pokrywają całe pole widzenia). Aby zastanowić się nad rolą obu rodzajów widzenia w percepcji wzrokowej kierowcy pojazdu należy najpierw zrozumieć istotę koordynacji widzenia centralnego i peryferycznego w obiorze informacji i kontroli motoryki.

Prowadzenie pojazdu wymaga nieustannego koordynowania dwóch poziomów percepcji wzrokowej. Model dwóch poziomów opisany został po raz pierwszy przez Dongesa w 1978 r. i stał się inspiracja wielu badań empirycznych potwierdzających jego użyteczność w opisie, wyjaśnianiu i przewidywaniu możliwości człowieka na drodze [1]. Na pierwszym poziomie (planowania) człowiek posługuje się głównie widzeniem centralnym, które pozwala mu rozpoznawać i rozumieć poszczególne elementy sytuacji, i jest powiązane bezpośrednio ze świadomym przetwarzaniem informacji w pamięci roboczej [2]. Kierowca kieruje swój wzrok w punkt znajdujący się dość daleko, w odległości 20-30 m (lub dalej w warunkach drogowych), rozpoznaje zagrożenia, planuje manewr (np. omijanie lub wejście w zakręt) - a następnie przenosi wzrok dalej w poszukiwaniu kolejnego istotnego elementu drogi. Nadzór nad wykonaniem manewru przejmuje widzenie peryferyczne, odpowiedzialne za orientacje przestrzenną w otoczeniu, umożliwiające ocenę, czy ruch pojazdu przebiega zgodnie z planem, jednak nie umożliwiające już tak dokładnej świadomej analizy pola widzenia. Jeśli pojawi się gwałtowne zagrożenie w pobliżu samochodu (wtargnięcie pieszego na jezdnię, poślizg zmieniający tor jazdy itp.) kierowca zmuszony jest do ponownego „centralnego" spojrzenia na kluczowe elementy zmienionej sytuacji w celu zmiany planu działania. Oba te poziomy funkcjonują równolegle, w komplementarny sposób odpowiadając za planowanie i koordynację jazdy. Częstym błędem w analizowaniu percepcji jest traktowanie całego pola widzenia jako jednolitej „fotografii".

Mechanizmy orientacji w otoczeniu oraz koordynacja wzrokowo- ruchowa odwołują się zatem do dwóch odrębnych funkcjonalnie systemów. W sytuacji widzenia zmierzchowego charakterystyka obu tych systemów zmienia się znacznie. Centralny system, oparty na czopkach traci swoją funkcjonalność (ponieważ słabe oświetlenie nie zapewnia koniecznego kontrastu), co prowadzi do znacznego wydłużenia czasu reakcji.

Z punktu widzenia formalnej charakterystyki, warunki oświetleniowe można podzielić na normalne (fotopowe, powyżej 3 cd/m^2), zmierzchowe (mezopowe, 0.001-3 cd/m^2) oraz nocne (skotopowe, poniżej 0.001 cd/m^2). W warunkach fotopowych w szczególności możliwe jest spostrzeganie barwne, obserwowane obiekty charakteryzują się wystarczającym kontrastem aby mogły być obserwowane i rozpoznawane przez system centralny. W warunkach nocnych widzenie centralne jest bardzo utrudnione. Wzrok człowieka wymaga dość długiej adaptacji do widzenia w mroku, po 8 minutach poziom wrażliwości pręcików przewyższa wrażliwość czopków, po ok. 15 minutach zaczyna się stabilizować, jednak pełną wartość osiąga dopiero po ok. 30 minutach [3]. Adaptacja do widzenia w mroku zakłada nieobecność jakiegokolwiek źródła światła w polu widzenia.

Należy podkreślić, że stosowany w literaturze (oraz w przepisach prawnych) termin „twilight Vision" odnosi się do widzenia mezopowego. Obowiązek oceny widzenia zmierzchowego wynika z przyjętych przez Polskę standardów międzynarodowych [4]. Trzeba jednak zastanowić się kto i w jaki sposób ma badać widzenie zmierzchowe.

Spośród różnych charakterystyk funkcjonowania narządu wzroku pod względem widzenia w warunkach zmniejszenia oceniane może być spostrzeganie kontrastu przy różnych poziomach oświetlenia i w olśnieniu, oceniać minimalny próg spostrzegania, czas adaptacji do warunków nocnych oraz czas readaptacji po olśnieniu. Należy również zastanowić się czy ocenie powinno podlegać widzenie w warunkach ekotopowych czy mezopowych.

Czynniki warunkujące bezpieczeństwo na drodze związane z widzeniem zmierzchowym

Warunki skotopowe na drodze praktycznie nie występują. Kierowca oświetlając drogę reflektorem oraz korzystając z oświetlenia ulicznego praktycznie nie podlega adaptacji do ciemności. Widzenie w takich warunkach ma charakter mezopowy. Jak słusznie zauważa Schieber [1] warunki takie stosunkowo rzadko stanowią przedmiot badań naukowych. Istnieje jednak szereg istotnych doniesień z badań, składających się na dość spójny obraz zależności warunkujących bezpieczeństwo ruchu w warunkach zmniejszonej jasności oświetlenia. Zatem to właśnie badanie sprawności widzenia w warunkach mezopowych powinno być głównym kierunkiem poszukiwania kryteriów przewidywania ryzyka wypadkowości.

W warunkach mezopowych zachodzi wiele interesujących zjawisk. Wykazano, ze pręciki paradoksalnie biorą wówczas udział w widzeniu centralnym, tym większy im słabsze jest oświetlenie. Szczególna rolę pełnią tu ruchy oczu, pozwalające okolicom peryferycznym brać udział w widzeniu nawet gdy bodziec położony jest w osi wzroku, ponieważ fiksacja oka w warunkach mezopowych jest znacznie słabsza [5].

W badaniu na symulatorze stwierdzono silna zależność pomiędzy jasnością oświetlenia a czasem reakcji oraz ilością błędów w wykrywaniu obiektów peryferyjnych [6]. Paradoksalnie, odległość kątowa od osi wzroku nie miała w warunkach mezopowych znaczenia dla jakości spostrzegania (ile mieściła się w granicach 10 stopni), chociaż w warunkach fotopowych zależność taka jest dość silna. Co ważne, czas reakcji charakteryzował się także większą wariancją, a zatem procesy poznawcze w warunkach mezopowych są mniej stabilne i przewidywalne. Szczególnie pogorszyło się spostrzeganie bodźców koloru czerwonego.

Interesujące są również badania dotyczące funkcji uwagi wzrokowej. Wyszukiwanie obiektów w polu widzenia może bazować na dwóch mechanizmach - może mieć charakter intencjonalny lub odruchowy [7]. Kiedy wyszukiwanie ma charakter prosty uwaga jest przyciągana do obiektu w sposób odruchowy, i złożoność pola widzenia nie ma większego znaczenia (ważne żeby poszukiwany bodziec był prosty). Wyszukiwanie automatyczne odbywa się w oparciu o mechanizm uwagi zwany orientacyjnym. Tymczasem w sytuacji kiedy poszukujemy obiektu złożonego, zdefiniowanego przez złożenie kilku warunków konieczne jest przetwarzanie intencjonalne, świadome, które jest tym trudniejsze im bardziej złożony jest nie tylko sam bodziec, ale i pole widzenia. Ten rodzaj wyszukiwania angażuje tzw. detekcyjny mechanizm uwagi. Dawson i Thibodeau [8] analizowali, na ile zmiana jasności oświetlenia wpływa na opisane wyżej mechanizmy. Okazało się, że w przypadku zmniejszonej jasności otoczenia słabnie działanie mechanizmu detekcyjnego. Działa on tym wolniej im bardziej zmniejszone jest oświetlenie, gwałtownie rosną też zakłócenia związane ze wzrostem złożoności pola widzenia. Efekt ten nie jest zaskakujący kiedy uświadomimy sobie z mechanizm detekcyjny oparty jest na widzeniu centralnym, angażującym przede wszystkim czopki, których działanie w takich warunkach słabnie.

Wyszukiwanie bazujące na mechanizmie orientacyjnym przebiegało w warunkach zmniejszonej jasności pola widzenia niemal bez zakłóceń. Autorzy uzyskali potwierdzenie bardzo ważnego z praktycznego punktu widzenia wniosku: jasność oświetlenia wpływa na procesy przenoszenia uwagi, natomiast właśnie kontrast ma decydujące znaczenie dla prawidłowego rozpoznawania obiektów. Zatem, kierowca nawet jeśli przeniesie wzrok na odpowiedni obiekt (znak drogowy, pieszego na poboczu) może w warunkach zmniejszonego kontrastu (a z takimi mamy do czynienia w sytuacji widzenia mezopowego) po prostu „widzieć, ale nie zobaczyć" - czyli nie rozpoznać zagrożenia.

Spostrzeganie kontrastu stanowi zmienną często wskazywaną jako determinująca bezpieczeństwo jazdy. Ball i Owsley [9] w badaniach dotyczących starszych kierowców wykryły znaczącą zależność między spadkiem spostrzegania kontrastu a ryzykiem uczestnictwa w wypadku drogowym. Również w innych badaniach, prowadzonych na dużych próbach i uwzględniających wiele czynników właśnie wrażliwość na kontrast okazywała się jednym z decydujących czynników [10].

O ile istnieje wiele danych wskazujących na związek pomiędzy spostrzeganiem kontrastu w warunkach zmierzchowych a wypadkowością, o tyle trudno odnaleźć dowody na związek progu widzenia zmierzchowego z ryzykiem błędu kierowcy. Normalne warunki prowadzenia samochodu (a nawet jazda w nocy nieoświetloną drogą z włączonymi reflektorami nie tworzy jeszcze warunków odpowiadających widzeniu ekotopowemu, w szczególności nie dając najmniejszych szans na adaptację systemu pręcików do warunków zmniejszonej jasności.

Wrażliwość na olśnienie jest często wymieniana jako czynnik wypadkowości, jednak niewiele jest badań na ten temat. Warto zauważyć jednak, że metoda pomiaru tej wrażliwości stosowana w okulistyce (zarówno w Polsce jak i w krajach zachodnich) zdecydowanie różni się od oceny stosowanej w czasie badań kierowców w pracowniach psychologicznych- polega ona na spostrzeganiu bodźców przy równoczesnej ekspozycji silnego światła.

Sprawność systemu wzrokowego kierowcy z psychologicznego punktu widzenia sprowadza się do szukania odpowiedzi na ile jest on w stanie realizować dwie główne, opisane wyżej funkcje (planowania i monitorowania ruchu). Pomiary tej sprawności winny być adekwatne do rzeczywistych, realizowanych na drodze zadań systemu wzrokowego. Osłabienie spostrzegania kontrastu, szczególnie w warunkach olśnienia i słabego oświetlenia bodźca utrudnia funkcjonowanie mechanizmu detekcyjnego uwagi oraz rozpoznawania wzrokowego, niezbędnego do planowania manewru. Ponieważ peryferyjny system widzenia znaczne lepiej radzi sobie z warunkami słabego oświetlenia, prawdopodobnie (choć brak na to bezpośrednich dowodów) na poziomie monitorowania przebiegu manewru warunki zmierzchowe nie powodują silniejszych zakłóceń.

Badania widzenia zmierzchowego u kierowców

Obecnie prowadzone w pracowniach psychologicznych badania kierowców [11] pozwalają na ocenę dwóch parametrów.

Pierwszy pomiar dotyczy minimalnego progu wrażliwości zmysłowej. Osoba badana po adaptacji do ciemności (zwykle ok. 15 minut) proszona jest o rozpoznawanie w centralnym polu widzenia położenia przerwy w pierścieniu (tzw. Pierścieniu Landolta), której oświetlenie zwiększa się stopniowo. Wynikiem badania (w najczęściej stosowanych aparatach) jest czas, po jakim badany spostrzega prawidłowo bodziec. Badanie powtarza się czterokrotnie.

Drugi pomiar ma za zadanie ocenę wrażliwości na olśnienie. Badany, bezpośrednio po pierwszym pomiarze, jest poddawany olśnieniu przez silne źródło światła, a następnie, po jego wygaszeniu, jego zadaniem jest rozpoznanie stosunkowo słabo oświetlonych kształtów. Wynikiem badania jest również czas rozpoznania bodźca.

Pomiary powyższe dają możliwość oceny minimalnej wrażliwości w warunkach skotopowych oraz czasu readaptacji po olśnieniu. Nie ma żadnych danych empirycznych bezpośrednio wiążących te zmienne z ryzykiem wypadkowości. O ile taki związek istnieje najprawdopodobniej jest artefaktem płynącym ze wspólnych w niektórych wypadkach przyczyn zaburzenia widzenia kontrastu i osłabienia funkcji badanych według stosowanej w Polsce metodyki.

Z przytoczonych danych wynika, ze właściwym sposobem oceny sprawności widzenia zmierzchowego byłoby badanie spostrzegania kontrastu, przeprowadzane w warunkach fotopowych (jako poziom odniesienia) mezopowych oraz mezopowych z olśnieniem. Badanie nie powinno mieć charakteru oceny różnic indywidualnych, lecz być elementem oceny stanu zdrowia i ewentualnej diagnostyki chorób oczu.

Przyczyny osłabienia sprawności widzenia zmierzchowego mogą być różnorodne. Może być to choroba zwyrodnieniowa siatkówki (częsta jako powikłanie cukrzycy, lub samoistna), jaskra, brak witaminy A lub zwyczajne przemęczenie. Istotnym czynnikiem jest również zaćma, dotykająca w różnym nasileniu szczególnie osoby starsze. Warto zauważyć, że rozróżnienie tych przyczyn i sformułowanie rokowania (niezwykle istotne w przypadku kierowcy zawodowego) wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań przez lekarza okulistę, dlatego sytuacja w której ocena widzenia należy do psychologa jest niezrozumiała, a praktyka taka jest niezgodna z polskim prawem [12]. Zaburzenia widzenia zmierzchowego i wrażliwości na olśnienie są objawami różnych zaburzeń i chorób, spośród których wiele można skutecznie leczyć. Nie zawsze zatem orzeczenie trwałej niezdolności do prowadzenia pojazdów jest adekwatne- lecz powinien się tym zajmować kompetentny lekarz.

W wyniku badań lekarskich można także (o czym wielu orzekających lekarzy nie wie) zastosować ograniczenie używania samochodu, wpisując w prawo jazdy kod 05.01 (jazda tylko w godzinach dziennych). Zastosowanie tego, w pełni realnego w polskim prawie rozwiązania pozwoliłoby wielu kierowcom używać samochodu do codziennych czynności.

Niejako na marginesie warto poruszyć jeszcze jedną kwestię. W przypadku kierowców badający psycholog może orzec jedynie bezterminową niezdolność lub zdolność. Orzekający lekarz może co prawda ograniczyć czas ważności badań, jednak orzekana niezdolność jest zawsze bezterminowa (o powtórne badanie można się ubiegać po upływie roku). Te ograniczenia w praktyce uniemożliwiają elastyczne dostosowywanie zaleceń do procesu choroby. Przykładowo, pacjent wymagający aktualnie operacji okulistycznej może być w pełni sprawny w czasie krótszym niż rok. Niekiedy także warto zalecić ściślejszą kontrolę sprawności psychomotorycznej pacjentowi przyjmującemu leki które mogą u niektórych osób prowadzić do spowolnienia reakcji. Jest to jednak utrudnione przez system, w którym lekarze i psychologowie orzekają odrębnie, według zbyt sztywnych przepisów. Większa elastyczność terminów ważności orzeczeń pozytywnych i negatywnych, a także śmielsze stosowanie kodów ograniczających użycie pojazdu pozwoliłoby na utrzymanie mobilności osób które w aktualnym systemie tracą (często bezpowrotnie) prawo jazdy. Analogiczne elastyczne rozwiązania formalne z powodzeniem stosowane są w badaniach pilotów i personelu lotniczego.

Jest to tym ważniejsze, że obecnie wiele osób starszych uznaje się za całkowicie niezdolnych do prowadzenia pojazdów, co pogłębia wykluczenie i dramatycznie obniża jakość życia, zwłaszcza w odniesieniu do mieszkańców wsi.

LITERATURA:

[1] Schieber F., Schlorholtz B., McCall R. (2009) Visual requirements of vehicular guidance. [w:] C. Castro (red.) Human factors of cognitive performance in driving (s. 31-50). Boca Raton: CRC Press.

[2] Tarnowski, A. (2009) Pamięć robocza i mechanizmy kontroli ruchów oka. Warszawa: Wydawnictwo Instytutu Psychologii PAN.

[3] Bauer G.M., Frumkes T.E., Holstein G.R. (1983). The influence of rod light and dark adaptation upon rod-cone interaction. The Journal of Physiology 337, 121-135.

[4] Dyrektywa Komisji Europejskiej 2009/113/WE z dnia 25 sierpnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2006/126/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie praw jazdy.

[5] Varady G., Bodrogi P. (2006). Mesopic spectral sensivity functions based on visibility and recognition contrast thresholds. Ophthalmic & Physiological Optics : The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists) 26, 246-253.

[6] Alferdinck J.W.A.M. (2006). Target detection and driving behaviour measurements in a driving simulator at mesopic light levels. Ophthalmic & Physiological Optics : The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists) 26, 313-317.

[7] Yantis S., Johnson D. N. (1990). Mechanisms of attentional priority, Journal of Experimetal Psychology (Human Percepton and Performance) 16, 812-825.

[8] Dawson M.R.W., Thibodeau M.H. (1998). The effect of adapting luminance on the latency of visual search. Acta Psychologica 99, 115-139.

[9] Ball K., Owsley C. (1991) Identifying Correlates of Accident Involvement for the Older Driver, Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society. vol. 33 583-595

[10] Owsley C, Stalvey BT, Wells J, Sloane ME, McGwin G Jr. (2001) Visual risk factors for crash involvement in older drivers with cataract. Arch Ophthalmol. 119(6): 881-7

[11] Horowski, P. (2003) Badanie psychologiczne w ciemni kabinowej. W: T. Rotter (red.) Metodyka badań kierujących pojazdami. Warszawa: ITS.

[12] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dn. 07.01.2004 w sprawie badań lekarskich kierowców (z późn.zm.).