

Karol STASIAK

**BADANIE WYBRANYCH ELEMENTÓW SPRAWNOŚCI WZROKOWEJ  
W GOGŁACH NOKTOWIZYJNYCH PNL-3  
NA SYMULATORZE HYPERION**

Rozprawa na stopień doktora nauk medycznych

Promotor:

Prof. dr hab. n. med. Marek E. PROST

WARSZAWA

2012

## WSTĘP

Narząd wzroku jest najważniejszym i dominującym narządem zmysłów człowieka. Niektórzy autorzy twierdzą, iż aż około 60 - 80 % bodźców z otaczającego człowieka środowiska dociera do nas za pomocą układu wzrokowego. Ma on jednak również pewne ograniczenia. Jednym z nich jest słabe funkcjonowanie w ciemności. Do najważniejszych problemów związanych z widzeniem nocnym należą: spadek ostrości wzroku, długi czas adaptacji do ciemności, obecność mroczka środkowego w polu widzenia, wrażliwość na olśnienie i readaptacja po olśnieniu, autokineza, krótkowzroczność nocna, brak widzenia barwnego, iluzje pasów startowych oraz zwolnienie szybkości reakcji. Ta niska sprawność wzrokowa w tych warunkach była przyczyną rozwoju technologii urządzeń wspomagających widzenie w nocy. Obok drogich systemów termowizyjnych i konstruowanych na ich bazie systemów złożonych jak TADS czy LANTRIN chyba najpowszechniej stosowaną technologią są noktowizyjne gogle do nocnego widzenia (NVG – Night Vision Goggles, (ryc.1)). W warunkach prawie całkowitej ciemności wzmacniają one fotony światła na tyle, iż powstają obrazy otoczenia niewidoczne okiem nieuzbrojonym.



*Ryc. 1. PNL – 3 (Pasywny Noktowizor Lotniczy – wersja 3).*

Jednakże widzenie za pomocą NVG znacznie różni się tak od widzenia dziennego, jak i nocnego. Pogorszenie ostrości wzroku, kontrastu, widzenia stereoskopowego w porównaniu do widzenia dziennego, znaczne zawężenie pola widzenia w porównaniu do widzenia tak dziennego jak i nocnego oraz monochromatyczność obrazu to tylko te najczęściej wymieniane problemy związane z widzeniem przez noktowizory

lotnicze. Różnice w widzeniu są na tyle znaczące, iż zaleca się specjalne szkolenia dla osób korzystających z tych urządzeń. Szkolenia takie są również prowadzone od 2004 roku w Wojskowym Instytucie Medycyny Lotniczej w Warszawie w Pracowni Widzenia Nocnego NVTS (Night Vision Training System).

W dostępnym piśmiennictwie jest wiele doniesień na temat badań statycznej ostrości wzroku i kontrastu w NVG, niektórymi z nich są również pracownicy WIML (M. Prost i wsp.).

Również problem dynamicznej ostrości wzroku był opisany dość dokładnie. Autorami prac na ten temat są min. byli i obecni pracownicy Wojskowego Instytutu Medycyny Lotniczej: J. Zawitkowski, T. Milczyński, J. Miszczak, I. Kożuchowska, M. Habela. Prace te odnoszą się jednak do badań przeprowadzonych na dynamoskopometrze, urządzeniu skonstruowanym w WIML przed około 30 laty (ryc. 2).



*Ryc.2. Wygląd konsoli sterującej i planszy ekspozycyjnej oraz dr Józef Zawitkowski podczas badania pilota.*

Dotychczas nie były natomiast publikowane badania dynamicznej ostrości wzroku w goglach do nocnego widzenia (NVG – Night Vision Goggles).

Proponowane miały za cel porównanie ostrości wzroku i poczucia kontrastu w warunkach statycznych oraz dynamicznych - podczas symulacji lotu.

CEL:

Celem pracy było badanie parametrów sprawności widzenia w goglach do nocnego widzenia PNL-3 produkcji Przemysłowego Centrum Optyki na symulatorze Hyperion.

Ocenie podległy:

- ostrość wzroku i poczucie kontrastu w warunkach statycznych,
- dynamiczna ostrość wzroku i poczucie kontrastu podczas lotu na symulatorze.

METODA:

Badani byli ochotnicy, piloci śmigłowców w wieku 24 – 40 lat, ze zróżnicowanym doświadczeniem lotniczym. Wymogiem zasadniczym w grupach doświadczalnych był prawidłowy stan narządu wzroku z pełną ostrością wzroku oraz doświadczenie w posługiwaniu się goglami noktowizyjnymi. Liczba badanych wynosiła 20 osób. Badania były wykonywane na symulatorze Hyperion (ryc. 3).



*Ryc. 3. Ogólny widok symulatora Hyperion.*

Symulator ten umożliwia prezentację panoramicznego, całkowicie zsynchronizowanego ruchomego obrazu o kącie widzenia w poziomie  $150^\circ$  i w pionie  $37^\circ$ . Dzięki systemowi specjalnie skonstruowanych lusterek uzyskuje się wrażenie widzenia w nieskończoności. Powoduje on również bardzo silne pobudzenia narządu przedsionkowego, co dodatkowo pozwala uzyskać wrażenie ruchu rzeczywistego. Do symulatora zaimplementowany został program komputerowy FlightGear. Jest to

program służący do symulacji pilotowania statków powietrznych, który charakteryzuje się wieloma bardzo użytecznymi dla potrzeb badawczych cechami. Najważniejszymi są możliwość dowolnej modyfikacji, wprowadzania nowych danych i zmiennych oraz rejestracji wielu parametrów. Należy również podkreślić dokładność odwzorowania terenu i niewielkie wymagania sprzętowe, co pozwalało na prowadzenie badań bez większych problemów technicznych.

Badania przeprowadzane były w następującej kolejności bezpośrednio po sobie:

- w warunkach dziennych statycznych, a następnie dynamicznych (około 20 minut),
  - adaptacja do ciemności (około 30 minut)
- w warunkach nocnych statycznych, a następnie dynamicznych (około 30 minut),
  - kalibracja gogli noktowizyjnych (około 2 - 5 minut),
- w warunkach nocnych w NVG statycznych, a następnie dynamicznych (około 30 minut).

Badanie w warunkach statycznych:

Pomiar ostrości wzroku odbywał się za pomocą optotypów Landolta, które były prezentowane na ekranach symulatora na specjalnie zaprojektowanej figurze kolistej zwanej „sześcianem” (ryc.4).



*Ryc. 4. Widok „sześcianu” z optotypami Landolta o zróżnicowanym kontraście na różnych bokach.*

Obiekt ten podczas badania w warunkach statycznych bez lotu zbliżał się z określonej odległości ku badanemu, a zadaniem badanego było jak najszybsze określenie położenia przerwy w optotypie. Moment prawidłowego odczytania położenia przerwy był określony jako odległość, którą automatycznie przeliczano na ostrość wzroku zgodnie z zasadą Snellena. Każdy optotyp prezentowany był z różną

wartością kontrastu czerni pierścienia do białego tła: 100%, 75%, 50% i 25%. Ostrość wzroku przy różnych wartościach kontrastu optotypu była miarą poczucia kontrastu.

Badania zostały podzielone jak już poprzednio wspomniano na trzy grupy:

1. Warunki widzenia dziennego przy natężeniu oświetlenia w położeniu głowy i oka badanego 4,5 - 9 luxów i wartości strumienia świetlnego wpadającego do oka (luminancji) 20 - 39 lumenów ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).
2. Warunki widzenia nocnego niewspomagane przy natężeniu oświetlenia w położeniu głowy i oka badanego około 0,1 luxa i wartości strumienia świetlnego wpadającego do oka (luminancji) około 0,4 lumena ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).
3. Warunki widzenia nocnego w goglach noktowizyjnych PNL-3 - ilość światła, która wpadała do noktowizora wynosiła 0,016-0,021 luxa, a wartości strumienia świetlnego (luminancji) wpadającego do oka 0,07-0,103 lumena ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), co po przeliczeniu na wartość energii docierającej do NVG odpowiadało rzeczywistym warunkom nocnym w noktowizji.

Wszystkie pomiary oświetlenia wykonano mililuksomierzem International Light IL 1700.

Badanie podczas symulacji lotu:

Badanie polegało na wykonywaniu przez badanego pilota symulowanego lotu śmigłowcem po oznaczonej trasie. Wymagane było osiągnięcie przez śmigłowiec:

- określonej prędkości przelotowej (w warunkach dziennych 120-150 km/h, w warunkach nocnych i w warunkach nocnych w NVG 100-120 km/h) oraz
- wysokości zbliżonej do warunków rzeczywistych (pomiędzy 200 – 1000 m npm).

Trasa lotu przebiegała wzdłuż kolejno pojawiających się przed śmigłowcem znaków orientacyjnych. Były nimi te same „sześciiany” jak w badaniu statycznym. Znaki te stanowiły punkt, w kierunku którego pilot musiał lecieć. Punkty te były rozmieszczone w następujących odległościach:

- co 1350 metrów podczas badania w warunkach dziennych,
- co 600 metrów podczas badania w warunkach nocnych,
- co 600 metrów podczas badania w warunkach nocnych w NVG.

Jednocześnie podczas lotu na sześcianie od początku wyświetlane były optotypy Landolta. Zadaniem badanego było jak najszybsze głośne odczytanie położenia przerwy w pierścieniu, w przypadku prawidłowego odczytu, odległość w jakiej było to uczynione była przeliczana na ostrość wzroku. Przy prawidłowym rozpoznaniu „sześcián” zmieniał swoje położenie o  $90^\circ$ , a na jego kolejnym boku wyświetlał się następny optotyp o zmniejszonym kontraście. Przy nieprawidłowym odczycie badający wyłączał sygnalizowane rozpoznanie badającego i niezmieniony znak przybliżał się dalej do statku powietrznego. Dopiero po prawidłowym rozpoznaniu „sześcián” zmieniał swoje położenie. Każdy „sześcián” obracał się podczas pojedynczej prezentacji 2 razy demonstrując dwa różne optotypy o dwóch zmniejszających się wartościach kontrastu.

Wartości kontrastu z którymi prezentowano optotypy były następujące:

- kontrast 100 % i 50 % podczas pojedynczej prezentacji,
- kontrast 75 % i 25 % podczas pojedynczej prezentacji.

Pojawienie się kolejnego „sześciánu” następowało dopiero po zniknięciu aktualnie odczytywanego.

Różnice w porównaniu do badania statycznego polegały na tym iż:

- pilot sam wykonywał lot ćwiczebny na symulatorze z koniecznością utrzymania zadanych parametrów (prędkość, wysokość),
- „sześcián” nie zawsze był widoczny pod kątem prostym, ale zależnym od kursu i toru lotu, pożądanym był dlatego lot bezpośrednio w kierunku figury,
- jasność oświetlenia „sześciánu” miała w każdych warunkach 100 % (umożliwiło to ocenę rozpoznawania wartości kontrastu 100 % bieli tła i odpowiedniej (100, 75, 50 i 25 %) czerni pierścienia,
- kolejno pojawiające się sześciány znajdowały się nie tylko w centralnym ekranie, ale również na ekranach bocznych tak, że pilot był zmuszony do wzrokowego przeszukiwania terenu w poszukiwaniu „sześciánu” z optotypami.

## WYNIKI I OMÓWIENIE:

Liczbowe wyniki wszystkich badań zostały zestawione w tabeli 1 oraz bardziej obrazowo na rycinie 5.

Tabela 1. Wyniki badań

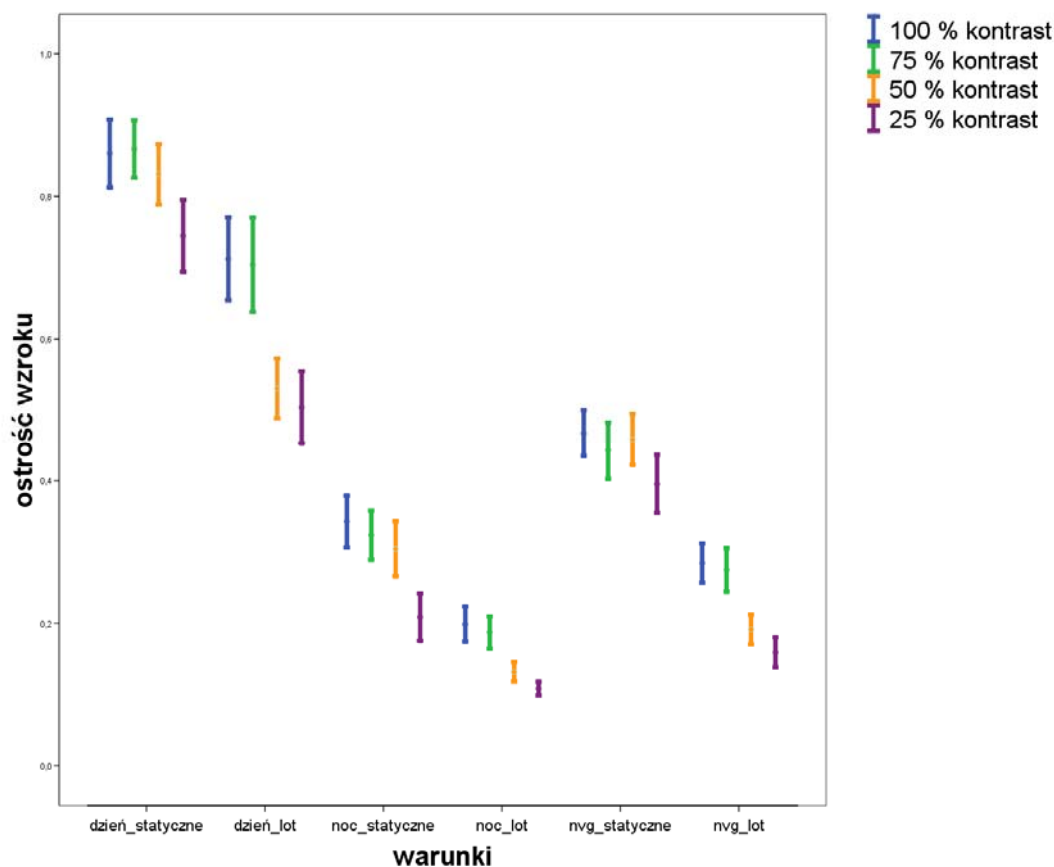
WARUNKI BADANIA	DZIEŃ STAT				DZIEŃ LOT			
	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
WARTOŚĆ KONTRASTU								
WARTOŚĆ OSTROŚCI WZROKU	0,8605	0,8665	0,831	0,745	0,7125	0,704	0,531	0,504
WARUNKI BADANIA	NOC STAT				NOC LOT			
	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
WARTOŚĆ KONTRASTU								
WARTOŚĆ OSTROŚCI WZROKU	0,3458	0,3245	0,309	0,2068	0,199	0,1875	0,132	0,1085
WARUNKI BADANIA	NVG STAT				NVG LOT			
	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
WARTOŚĆ KONTRASTU								
WARTOŚĆ OSTROŚCI WZROKU	0,468	0,443	0,459	0,3955	0,2845	0,275	0,1915	0,1595

W warunkach widzenia dziennego statyczna ostrość wzroku na symulatorze Hyperion była nieco niższa niż w warunkach klinicznych (1,0) i wyniosła 0,86. Natomiast przy zmniejszonych wartościach kontrastu (do 75%, 50% i 25%) prezentowanych optotypów ostrość wzroku pogorszyła się statystycznie znamienne dla wartości kontrastu 25% i wyniosła 0,504. Zmiany ostrości wzroku dla optotypów o kontraście 75% i 50% były statystycznie nieistotne.

W warunkach widzenia nocnego niewspomagane statyczna ostrość wzroku na symulatorze Hyperion była nieco wyższa niż teoretyczna wartość 0,1 i wyniosła 0,3458. Przy zmniejszonych wartościach kontrastu prezentowanych optotypów



ostrość wzroku pogorszyła się statystycznie znamienne dla wartości kontrastu 25% i wyniosła 0,2068.



Ryc.5. Wartość ostrości wzroku wszystkich badań w różnych warunkach.

W warunkach widzenia nocnego w goglach noktowizyjnych PNL-3 statyczna ostrość wzroku na symulatorze Hyperion wyniosła 0,468 i wartość ta jest zgodna tak ze specyfikacją urządzeń, jak i danymi z literatury. Przy zmniejszonych wartościach kontrastu prezentowanych optotypów ostrość wzroku pogorszyła się statystycznie znamienne dla wartości kontrastu 25% i wyniosła 0,3955.

Podczas symulacji lotu w warunkach widzenia dziennego dynamiczna ostrość wzroku na Hyperionie była niższa niż w warunkach bez symulacji lotu o 17,1% i wyniosła 0,7125. Dane te są zgodne z danymi z literatury, iż wartość ostrości wzroku w warunkach dynamicznych ulega pogorszeniu o kilkanaście procent. Natomiast podczas symulacji lotu na Hyperionie w warunkach widzenia dziennego przy zmniejszonych wartościach kontrastu prezentowanych optotypów dynamiczna ostrość wzroku pogorszyła się statystycznie znamienne dla wartości kontrastu 50% o

25,5% i wyniosła 0,531, a dla wartości kontrastu 25% pogorszyła się statystycznie znamienne o 29,3% i wyniosła 0,504. Wyniki te świadczą o tym, iż w warunkach symulacji lotu poczucie kontrastu ulega znaczniejszemu pogorszeniu niż w warunkach badania statycznego.

Podczas symulacji lotu w warunkach widzenia nocnego niewspomagane dynamiczna ostrość wzroku na Hyperionie była niższa niż w warunkach bez symulacji lotu o 42,2% i wyniosła 0,199. Podczas symulacji lotu na Hyperionie w warunkach widzenia nocnego niewspomagane przy zmniejszonych wartościach kontrastu prezentowanych optotypów dynamiczna ostrość wzroku pogorszyła się statystycznie znamienne dla wartości kontrastu 50% o 33,7% i wyniosła 0,132, natomiast dla wartości kontrastu 25% o 45,5% i wyniosła 0,1085.

Podczas symulacji lotu w warunkach widzenia nocnego w goglach noktowizyjnych PNL-3 dynamiczna ostrość wzroku na Hyperionie była niższa niż w warunkach bez symulacji lotu o 39,2% i wyniosła 0,2845. Natomiast przy zmniejszonych wartościach kontrastu prezentowanych optotypów dynamiczna ostrość wzroku pogorszyła się statystycznie znamienne dla wartości kontrastu 50% o 32,7% i wyniosła 0,1915, a dla wartości kontrastu 25% o 43,9% i wyniosła 0,1595.

Wyniki badań świadczą o tym, iż wraz ze zmniejszającym się kontrastem pogorszeniu ulega również ostrość wzroku, a tym samym rozpoznawanie drobnych szczegółów. Pogorszenie to jest zdecydowanie większe podczas wykonywania lotu symulowanego, statystycznie znamienne jest wówczas pogorszenie dynamicznej ostrości wzroku nie tylko dla kontrastu 25% jak podczas badania bez symulacji lotu, ale również przy wartości kontrastu optotypów 50%. Wyniki badań świadczą również o tym, iż zastosowanie urządzeń wspomagających widzenie nocne – gogli noktowizyjnych PNL-3 bardzo znacząco poprawia ostrość wzroku w porównaniu do widzenia nocnego niewspomagane o nawet 91% jak w warunkach nocnych statycznych. Ponadto ich użycie częstokroć umożliwia w ogóle pilotowanie statku powietrznego w warunkach nocnych poprzez możliwość percepcji obiektów niedostrzeganych widzeniem niewspomagane – taka zresztą była idea wdrożenia urządzeń noktowizyjnych do użytku podczas wojskowych misji nocnych.

## WNIOSKI:

1. Wykonywanie czynności związanych z lotem symulowanym na Hyperionie powoduje spadek dynamicznej ostrości wzroku o około 17% w warunkach dziennych, natomiast o około 40% w warunkach nocnych i w NVG (w porównaniu do warunków bez symulacji lotu). Różnice te były statystycznie znamienne.
2. Obniżenie kontrastu prezentowanych optotypów w warunkach bez symulacji lotu powoduje znamienne statystycznie pogorszenie ostrości wzroku dla wartości kontrastu 25% we wszystkich warunkach badania: dziennych, nocnych i nocnych w NVG, natomiast dla pozostałych wartości kontrastu (50 i 75%) różnice te były statystycznie nieistotne.
3. Obniżenie kontrastu prezentowanych optotypów podczas symulacji lotu na Hyperionie w warunkach widzenia dziennego, nocnego i nocnego w NVG powoduje statystycznie znamienne pogorszenie dynamicznej ostrości wzroku dla wartości kontrastu 50% i 25%, natomiast dla wartości kontrastu 75% różnice te były statystycznie nieistotne.
4. Zastosowanie gogli noktowizyjnych PNL-3 powoduje znaczącą i statystycznie istotną poprawę ostrości wzroku dynamicznej w porównaniu do widzenia nocnego niewspomagane, zwłaszcza dla obiektów i przedmiotów o niskim kontraście.
5. Poprawę ostrości wzroku w goglach noktowizyjnych stwierdzono zarówno w warunkach z symulacją jak i bez symulacji lotu.
6. Wyniki badań mogą być przydatne do modyfikacji szkolenia pilotów do lotów w NVG.