

PRACE ORYGINALNE

Elżbieta Janosik
Jan Grzesik

BADANIA WPŁYWU NATĘŻENIA OŚWIEPLENIA STANOWISK KOMPUTEROWYCH NA SPRAWNOŚĆ PRACY WZROKOWEJ OPERATORÓW

THE INFLUENCE OF LIGHTING OF WORKSTATIONS WITH VIDEO DISPLAY TERMINALS ON OPERATORS' VISUAL WORK EFFICIENCY

Z Zakładu Szkodliwości Fizycznych
Instytutu Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu
Kierownik zakładu: prof. dr hab. J. Grzesik

STRESZCZENIE Celem pracy było zbadanie wpływu różnych poziomów natężenia oświetlenia stanowiska komputerowego na przebieg pracy wzrokowej operatorów oraz na tej podstawie określenie optymalnych wartości natężenia oświetlenia stanowisk komputerowych. Dla dwóch rodzajów prac wykonywanych przez operatorów (tj. wpisywanie do komputera cyfr odczytywanych z maszynopisu i edycja tekstu wyświetlanego na ekranie monitora) oraz dla czterech poziomów natężenia oświetlenia (200, 300, 500 i 750 lx) określano wydajność pracy, stopień powstającego zmęczenia wzroku i subiektywne odczucia operatorów. Stwierdzono, że praca na stanowisku komputerowym może powodować przeciążenie narządu wzroku, objawiające się m.in. subiektywnymi dolegliwościami oczu i osłabieniem funkcji akomodacji i konwergencji. Stwierdzono również, że praca typu „edycja tekstu na ekranie” jest ponadto bardziej uciążliwa niż praca typu „wpisywanie danych”. Wyniki badań wykazały też, że natężenie oświetlenia na stanowisku komputerowym powinno być wyższe od 200 lx, najlepiej powinno wynosić 300 lx – podczas edycji tekstu na ekranie oraz 500 lx – przy pracy polegającej na odczytywaniu tekstu z maszynopisu i wpisywaniu go do komputera. Med. Pr. 2003; 54 (2): 123–132

SŁOWA KLUCZOWE: stanowisko komputerowe, natężenie oświetlenia, wydajność pracy wzrokowej, zmęczenie wzroku

ABSTRACT The aim of this work was to evaluate the influence of different lighting levels at workstations with video display terminals (VDTs) on the course of the operators' visual work, and to determine the optimal levels of lighting at VDT workstations. For two kinds of job (entry of figures from a typescript and edition of the text displayed on the screen), the work capacity, the degree of the visual strain and the operators' subjective symptoms were determined for four lighting levels (200, 300, 500 and 750 lx).

It was found that the work at VDT workstations may overload the visual system and cause eyes complaints as well as the reduction of accommodation or convergence strength.

It was also noted that the edition of the text displayed on the screen is more burdening for operators than the entry of figures from a typescript. Moreover, the examination results showed that the lighting at VDT workstations should be higher than 200 lx and that 300 lx makes the work conditions most comfortable during the entry of figures from a typescript, and 500 lx during the edition of the text displayed on the screen. Med Pr 2003; 54 (2): 123–132

KEY WORDS: VDT workstation, illuminance, visual work capacity, eye strain

Nadesłano: 20.11.2002

Zatwierdzono: 10.05.2003

Adres autorów: Kościelna 13, 41-200 Sosnowiec, e-mail: e-janosik@imp.sosnowiec.pl

WSTĘP

Praca na stanowiskach wyposażonych w monitory ekranowe jest obecnie zjawiskiem powszechnym. W wielu dziedzinach komputer warunkuje wykonywanie czynności zawodowych. Do najczęstszych prac na stanowiskach komputerowych zalicza się wprowadzanie danych odczytywanych z dokumentacji, pobieranie, przetwarzanie lub kontrola danych na ekranie monitora czy też projektowanie grafiki komputerowej.

Konieczność obserwacji znaków na dokumencie, klawiaturze i monitorze, przyjmowanie wymuszonej pozycji ciała, wykonywanie ciągu monotypowych ruchów podczas pracy z komputerem i często narzucone tempo pracy sprawiają, że jest ona przyczyną obciążeń narządu wzroku, układu mięśniowo-szkieletowego i układu nerwowego (1–6).

Zakres pojawiających się dolegliwości (oczu, głowy, dłoni, kręgosłupa, mięśni) zależy od rodzaju i czasu trwania

wykonywanej pracy, przestrzennej organizacji stanowiska, jakości znaków na ekranie, czytelności dokumentacji, czynników fizycznych w pomieszczeniu (hałasu, mikroklimatu, oświetlenia), a także od kondycji i wieku pracownika.

Aby zminimalizować te obciążenia opracowano liczne zalecenia dotyczące warunków pracy na stanowisku komputerowym. Przykładem zbioru takich zaleceń są: Dyrektywa Rady EWG 90/270/EWG (7), zalecenia CCOHS (Kanaadyjskiego Ośrodka Zdrowia i Bezpieczeństwa Pracy) (8), zalecenia ISO 9241 (9) czy też wydane w Polsce, zgodne z ww. dokumentami – Rozporządzenie MPiPS w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowiskach wyposażonych w monitory ekranowe (10). Rozporządzenie to narzuca Pracodawcy obowiązek organizowania stanowisk komputerowych w sposób niedopuszczający do powstawania nadmiernych obciążeń, ponadto zawiera wykaz podstawowych

wymagań BHP i ergonomii, jakie powinny spełniać rozważane stanowiska.

Do wymagań dotyczących organizacji przestrzennej stanowiska komputerowego zalicza się m.in. zapewnienie odpowiedniej wysokości stołu dobranej do wzrostu operatora, krzesła posiadającego możliwość regulacji kąta pochylenia oparcia i wysokości siedziska, odpowiedniej odległości oczu pracownika od ekranu monitora (40 – 75 cm) oraz możliwości regulacji kąta pochylenia monitora dla zapewnienia optymalnego pochylenia głowy operatora. Dobrą jakość obrazu na ekranie zapewnia się z kolei odpowiednią wielkością, luminancją i kontrastem znaków na ekranie, odpowiednią odległością między znakami i wierszami, niedopuszczeniem do powstawania odbłasków na ekranie monitora. Do czynników fizycznych wpływających na pracę operatora zaliczono panujące w pomieszczeniu warunki mikroklimatyczne (temperatura powietrza 20 – 26°C, wilgotność nie mniejsza niż 40%), akustyczne (poziom hałasu do 55 dB) oraz oświetleniowe (odpowiedni poziom natężenia oświetlenia oraz rozkład luminancji w polu widzenia operatora). Istotnym czynnikiem jest też sama organizacja pracy z komputerem, m.in. zapewnienie zrozumiałego oprogramowania, różnorodności i dogodnej kolejności wykonywania zadań, stosowanie przerw w pracy (co najmniej 5-minutową przerwę po każdej godzinie pracy).

Dominującymi dolegliwościami, które mimo stosowania ww. zaleceń pojawiają się wskutek długotrwałego wykonywania na stanowisku komputerowym precyzyjnej pracy wzrokowej są dolegliwości narządu wzroku (11).

Czynnikiem w dużej mierze determinującym warunki pracy wzrokowej operatorów jest oświetlenie stanowiska komputerowego. Głównym parametrem oświetlenia jest poziom jego natężenia. Problem oświetlania stanowisk z komputerem był przedmiotem wielu badań. Ich wynikiem są powstałe w wielu krajach propozycje optymalnych poziomów natężenia oświetlenia stanowisk komputerowych. Według polskiej normy PN-84/E-02033 (12) natężenie oświetlenia na stanowisku komputerowym powinno wynosić co najmniej 500 lx. Powyższa norma nie określa precyzyjnie, czy wartość 500 lx odnosi się do poziomej płaszczyzny roboczej stanowiska komputerowego (płaszczyzny klawiatury i dokumentacji), czy do płaszczyzny pionowej (płaszczyzny ekranu). Inne wartości podają normy zagraniczne a także Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa CIE, która stwierdza, że natężenie oświetlenia na płaszczyźnie poziomej stanowiska komputerowego powinno zawierać się w zakresie 300–1000 lx (5,13). Taka rozpiętość dozwolonych wartości natężenia oświetlenia stanowiska komputerowego pozwala teoretycznie na wybór poziomu natężenia oświetlenia odpowiedniego dla danego rodzaju wykonywanej pracy i monitora, wieku czy upodobań operatora. Jednak ostatecznie nie zdecydowano, jakie poziomy natężenia oświetlenia są najlepsze dla różnych sytuacji, ponadto zazwyczaj indywidualna regulacja wartości natężenia oświetlenia na stanowisku pracy jest technicznie niemożliwa. Dlatego dużym ułatwieniem byłaby

znajomość najodpowiedniejszego dla danej sytuacji poziomu natężenia oświetlenia i branie go pod uwagę już podczas projektowania stanowiska pracy.

Wobec powyższego, przyjęto za cel pracy określenie optymalnych wartości natężenia oświetlenia stanowisk komputerowych – w oparciu o ocenę wpływu różnych poziomów natężenia oświetlenia na wydajność wykonywanej pracy, stopień powstającego zmęczenia wzroku oraz na samopoczucie operatora.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono na stanowisku doświadczalnym, pozbawionym oświetlenia dziennego i oświetlonym światłem sztucznym, którego źródłem były świetlówki (o białej barwie światła) zamontowane w przysufitowych oprawach z rastrami. Poprzez załączanie określonej liczby świetlówek uzyskano możliwość zmian wartości natężenia oświetlenia na płaszczyźnie stołu stanowiska w zakresie 200–750 lx. Na stanowisku zapewniono eliminację zjawiska olśnienia odbiciowego, prawidłowy rozkład luminancji w polu widzenia pracownika oraz prawidłową strukturę przestrzenną stanowiska. Oprawy ze świetlówkami zamontowano w taki sposób, aby kierunek obserwacji operatora był równoległy do linii podłużnej opraw. Równomierny rozkład luminancji w polu widzenia pracownika uzyskano poprzez taki dobór kolorystyki płaszczyzn – klawiatury, blatu i otoczenia, aby iloraz luminancji sąsiednich płaszczyzn był nie większy niż 1:3. W celu uniknięcia przyjmowania przez operatora nieprawidłowej pozycji ciała podczas obsługi komputera zapewniono odpowiednią wysokość stołu (70 cm) i siedziska (40 cm) oraz dobrą czytelność znaków na ekranie i klawiaturze komputera. Zestaw komputerowy, w który wyposażono stanowisko doświadczalne, posiadał monitor ekranowy CRT o pozytywowym kontraście, tzn. ciemne litery na jasnym tle, z możliwością regulacji jaskrawości i kontrastu znaków. Klawiatura miała matową, jasnoszarą obudowę, z czarnymi znakami na klawiszach. Odpowiednie ustawienie monitora względem oczu operatora, tzn. położenie górnej krawędzi monitora poniżej osi wzroku pracownika oraz prawie jednakowe odległości ekranu, klawiatury i maszynopisu od głowy operatora, średnio 50 cm – minimalizowały wysiłek akomodacyjny i konwergencyjny oczu operatora.

Do najczęstszych czynności wykonywanych na stanowiskach komputerowych należy wpisywanie danych cyfrowych, odczytywanych z maszynopisu lub edycja tekstu wyświetlanego na ekranie monitora, dlatego założono zbadanie wpływu różnych poziomów natężenia oświetlenia na wykonanie tych dwóch rodzajów prac. W tym celu wolontariusze przy różnych natężeniach oświetlenia wpisywali do arkusza kalkulacyjnego programu Excel, przez 45 minut, 5-cyfrowe liczby odczytywane z dokumentacji, umieszczonej w uchwycie z boku monitora (I rodzaj pracy) oraz wyszukiwali i zaznaczali przez 45 minut w tekście wyświetlanym na ekranie monitora wyrazy zawierające litery ś lub g (II rodzaj pracy).

Tabela I. Ankieta dotycząca subiektywnych objawów zmęczenia wzroku
Table I. Questionnaire on subjective symptoms of eye strain

Objawy Symptoms	Eksperyment Experiment							
	C I	C II	C III	C IV	T I	T II	T III	T IV
Pieczenie oczu Burning of eyes								
Swędzenie oczu Itching of eyes								
Kłucie pod powiekami Pricking under eyelids								
Uczucie piasku pod powiekami Sore eyes								
Światłowstręt Photophobia								
Uczucie ciężkości powiek Feeling of eyelids heaviness								
Bolesność gałek ocznych Painfulness of eyeballs								
Uczucie migotania obrazu Feeling of image flickering								
Obraz zamazany Blurring of image								
Podwójne widzenie Double vision								
Drżenie powiek Tremor of eyelids								
Ból głowy Headache								
Zawroty głowy Vertigo								
Łzawienie Lacrimation								
Zaczerwienienie powiek lub spojówek Reddening of eyelids or conjunctivitis								
Inne Others								

Założono, że optymalnym natężeniem oświetlenia stanowiska komputerowego będzie taki jego poziom, przy którym wolontariusze wykonają swą pracę w sposób najwydatniejszy, przy minimalnym zmęczeniu wzroku i dyskomforcie psychicznym.

Badania wydajności pracy, stopnia zmęczenia wzroku oraz powstałego dyskomfortu operatorów po wykonaniu pracy w danych warunkach oświetleniowych polegały na wyznaczeniu i analizie następujących parametrów:

I. Parametry określające wydajność pracy:

- liczba wpisanych cyfr lub przejranych wierszy tekstu po 45 minutach;
- liczba popełnionych błędów, tzn. złych wpisów cyfr lub opuszczeń wyrazów.

II. Parametry określające stopień zmęczenia wzroku:

- subiektywne dolegliwości oczu odczuwane przez wolontariusza po zakończeniu pracy (wolontariusz po za-

kończeniu pracy w danych warunkach oświetlenia wypełniał ankietę, którą podano w tabeli I);

- obiektywna ocena zmęczenia wzroku, polegająca na wyznaczeniu przed rozpoczęciem oraz po zakończeniu pracy położenia punktu bliży akomodacji, punktu bliży konwergencji oraz częstotliwości mrugania, a następnie oszacowaniu zmian tych wielkości. Położenie punktu bliży akomodacji oraz punktu bliży konwergencji wyznaczano za pomocą urządzenia RAF Binokular Gauge (czyli tzw. linijki RAF). Drukowany tekst przesuwano po linijce w stronę oczu badanego, a następnie odczytywano odległość tekstu od oczu badanego (w centymetrach), przy której druk stawał się dla niego zamazany. W przypadku wyznaczania punktu bliży konwergencji pacjent obuocześnie śledził przesuwającą się w kierunku oczu tablicę z rysunkiem pionowego odcinka. W pewnej odległości od oczu (wyznaczanej w cm), przy osiągnięciu maksymalnego napięcia mięśni okoruchowych,

Tabela II. Formularz do oceny samopoczucia przed i po pracy (w skali analogowej 0-10)
Table II. Form to register general feelings before and after work (analogical scale 0-10)

	Skala samooceny 0-10										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ospały, ociężały	_____										energiczny, rzeźki
Slack, tardy	_____										Energetic, brisk
Zmęczony	_____										wypoczęty
Tired	_____										Rested
Oslabiony	_____										silny
Weak	_____										Strong
Zniechęcony	_____										mający zapał do pracy
Discouraged	_____										with fervor for work
Znudzony	_____										zainteresowany
Weary	_____										Interested

badany sygnalizował pojawienie się wrażenia dwojenia obrazu odcinka.

- częstotliwość mrugania określana pośrednio, poprzez pomiar czasu dwudziestu mrugnięć wolontariusza (podawany w sekundach).

III. Parametry określające dyskomfort, powstający podczas obsługi komputera:

- subiektywna ocena wolontariusza dotycząca warunków oświetlenia, wg skali: 5 - zbyt jasno, 4 - trochę za jasno, 3 - odpowiednio, 2 - trochę za ciemno, 1 - zbyt ciemno.

- subiektywna ocena samopoczucia przed i po pracy, która polegała na zaznaczeniu swej oceny na analogowej skali 0-10 (tabela II).

W badaniach wzięło udział 32 wolontariuszy płci męskiej, bez wad wzroku, w wieku około 20 lat. Każdy z wolontariuszy wziął udział w 8 eksperymentach:

CI - polegającym na wpisywaniu cyfr do komputera przy natężeniu oświetlenia 750 lx;

CII - polegającym na wpisywaniu cyfr do komputera przy natężeniu 500 lx;

CIII - polegającym na wpisywaniu cyfr do komputera przy natężeniu 300 lx;

CIV - polegającym na wpisywaniu cyfr do komputera przy natężeniu 200 lx;

TI - polegającym na wyszukiwaniu wyrazów w tekście na ekranie monitora, przy natężeniu oświetlenia 750 lx;

TII - polegającym na wyszukiwaniu wyrazów w tekście na ekranie monitora, przy natężeniu 500 lx;

TIII - polegającym na wyszukiwaniu wyrazów w tekście na ekranie monitora, przy natężeniu 300 lx;

TIV - polegającym na wyszukiwaniu wyrazów w tekście na ekranie monitora, przy natężeniu 200 lx.

Statystyczne opracowanie wyników wykonano przy użyciu programu komputerowego STATISTICA, wyznaczając wartości średnie, modalne i odchylenie standardowe oraz istotności statystyczne wyników testem Wilcozona dla

zmiennych porządkowych i testem t-Studenta dla zmiennych interwałowych.

WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tabelach III-IV i na rycinach 1-4. W tabeli III zamieszczono średnie wartości wyników uzyskanych w kolejnych doświadczeniach, tzn.: wartość średnią i modalną oceny warunków oświetlenia, wartość średnią i maksymalną ilość zgłaszanych subiektywnie odczuwanych dolegliwości, średnie wartości zmian - przed pracą i po pracy - położenia punktu bliży akomodacji i konwergencji, czasu mrugania, oceny samopoczucia oraz średnie wartości ilości wpisanych liczb i popełnionych błędów przez 45 minut w eksperymentach CI-CIV i średnie wartości liczby przejranych linii tekstu i średnie względne ilości odszukanych wyrazów w tekście przez 45 minut w eksperymentach TI-TIV. Wyniki sprawdzania statystycznej istotności zawarto w tabelach IV-V, przy czym w tabeli IV umieszczono wyniki sprawdzania statystycznej istotności różnic wartości badanych parametrów uzyskanych przed pracą i po pracy z komputerem. W tabeli V zawarto z kolei wyniki sprawdzania statystycznej istotności różnic wartości każdego badanego parametru, uzyskanych w różnych eksperymentach. Ostatnia tabela - VI zawiera wykaz eksperymentów, w których uzyskano najkorzystniejsze wyniki z punktu widzenia sprawności spostrzegania i odczuć wolontariuszy.

Na rycinie 1 pokazano wykres słupkowy, przedstawiający liczbę zarejestrowanych dolegliwości (objawów zmęczenia wzroku) w poszczególnych eksperymentach. Kolejne wykresy (ryc. 2 i 3) przedstawiają liczbę konkretnych dolegliwości, jakie w sumie wystąpiły we wszystkich eksperymentach CI-CIV oraz w TI-TIV. Na rycinie 4 z kolei przedstawiono średnie ocen warunków oświetlenia dla każdego eksperymentu.

Badania wydajności pracy polegającej na wpisywaniu cyfr do arkusza kalkulacyjnego wykazały, że wolontariusze dokonywali w ciągu 45 minut wpisu od 346 do 369 cyfr - w zależności od eksperymentu. Nie stwierdzono statystycz-

Tabela III. Wartości średnie wyników uzyskanych w kolejnych eksperymentach
Table III. Average values of results obtained in individual experiments

Badany parametr Parameter	CI	CII	CIII	CIV	TI	TII	TIII	TIV
Ocena warunków oświetlenia Evaluation of lighting conditions	3,5 ± 0,6 moda: 3	3,1 ± 0,5 moda: 3	2,6 ± 0,5 moda: 3	2,2 ± 0,6 moda: 2	4,1 ± 0,7 moda: 4	3,4 ± 0,6 moda: 3	2,9 ± 0,7 moda: 3	2,3 ± 0,6 moda: 2
Subiektywne objawy zmęczenia oczu Subjective symptoms of eye strain	1,6 ± 1,4 max 5	1,1 ± 1,3 max 5	1,3 ± 1,5 max 5	1,7 ± 1,5 max: 6	2,2 ± 1,8 max 7	1,8 ± 1,8 max 6	1,7 ± 1,6 max 5	2,2 ± 1,7 max 6
Zmiany położenia punktu blizy akomodacji (cm) Changes in accommodation near point position (cm)	1,7 ± 2,0	1,8 ± 1,8	1,3 ± 1,6	1,8 ± 2,5	1,8 ± 1,9	2,0 ± 2,1	1,6 ± 2,3	2,3 ± 2,4
Zmiany położenia punktu blizy konwergencji (cm) Changes in convergence near point position (cm)	2,1 ± 2,3	1,1 ± 1,3	1,3 ± 1,5	1,8 ± 2,5	1,6 ± 1,9	1,5 ± 2,0	1,2 ± 1,8	2,2 ± 3,1
Zmiany częstości mrugania (s) Changes in blinking frequency (s)	-13 ± 43	-19 ± 40	-15 ± 67	-19 ± 64	-39 ± 64	-37 ± 54	-22 ± 61	-54 ± 92
Zmiany w ocenie samopoczucia Changes in general feeling evaluation	1,1 ± 1,1	0,8 ± 0,9	1,3 ± 1,8	1,1 ± 1,3	1,1 ± 1,1	1,0 ± 1,3	1,3 ± 1,3	1,6 ± 1,3
Liczba przejranych linii tekstu na ekranie Number of revised text lines on screen					244 ± 39	240 ± 45	227 ± 53	198 ± 49
Względna liczba odzuczanych wyrazów w tekście Relative number of words found out in the text on the screen					0,9 ± 0,1	0,89 ± 0,1	0,85 ± 0,1	0,77 ± 0,1
Ilość wpisanych liczb Amount of entered figures	346 ± 93	367 ± 86	369 ± 94	346 ± 81				
Ilość błędnie wpisanych liczb Amount of mistakes in entered figures	4,7 ± 3,9 max 16	6,0 ± 4,9 max 20	6,5 ± 4,7 max 24	6,6 ± 5,7 max 27				

Tabela IV. Istotność statystyczna różnic między wartościami uzyskanymi przed pracą i po pracy
Table IV. Statistical significance of differences between values obtained before and after work

Badany parametr Parameter	CI	CII	CIII	CIV	TI	TII	TIII	TIV
Położenie punktu blizy akomodacji Position of accommodation near point	*	*	*	*	*	*	*	*
	P = 0,00003	P = 0,000004	P = 0,0001	P = 0,0002	P = 0,000004	P = 0,00006	P = 0,0004	P = 0,00001
Położenie punktu blizy konwergencji Position of convergence near point	*	*	*	*	*	*	*	*
	P = 0,00002	P = 0,0002	P = 0,01	P = 0,0002	P = 0,00004	P = 0,0002	P = 0,0019	P = 0,0005
Czas 20 mrugnięć Time of 20 blinks		*			*	*	*	*
	P = 0,07	P = 0,011	P = 0,17	P = 0,13	P = 0,0016	P = 0,0007	P = 0,045	P = 0,0024
Ocena samopoczucia Evaluation of general feelings	*	*	*	*	*	*	*	*
	P = 0,00001	P = 0,00001	P = 0,0002	P = 0,00004	P = 0,00001	P = 0,00007	P = 0,00001	P = 0,0000

* Istotność statystyczna dla $p < 0,05$.

* Statistical significance for $p < 0,05$.

nie istotnej zależności między ilością wpisanych liczb a natężeniem oświetlenia (wartości średnie wskazują, że najczęściej liczb wpisano przy natężeniu 500 i 300 lx). Stwierdzono natomiast, że im niższy jest poziom natężenia oświetlenia tym większa jest też liczba błędnych wpisów, od średnio 4,7 przy 750 lx (CI) do 6,6 przy 200 lx (CI). Wystąpiły statystycznie

istotne różnice wyników eksperymentu CI w stosunku do eksperymentów CIII i C IV. Wydajność pracy polegająca na wyszukiwaniu wyrazów w tekście wyświetlanym na ekranie rosła wraz ze wzrostem natężenia oświetlenia: średnio od 198 przejranych linii tekstu przy 200 lx (T IV) do 244 linii przy 750 lx (TI). Statystycznie istotne różnice stwierdzono

Tabela V. Istotność statystyczna różnic między wartościami uzyskanymi w różnych eksperymentach
Table V. Statistical significance of differences between values obtained in individual experiments

Badany parametr Parameter	Porównywane eksperymenty Compared experiments					
	CI-CII	CI-CIII	CI-CIV	CI-CIII	CII-CIV	CIII-CIV
Ocena warunków oświetlenia Evaluation of lighting conditions	*	*	*	*	*	*
	P = 0,003	P = 0,00004	P = 0,000004	P = 0,001	P = 0,00003	P = 0,0015
Subiektywne objawy zmęczenia oczu Subjective eye strain symptoms	*				*	
	P = 0,037	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	P = 0,045	p > 0,05
Zmiany położenia punktu blizy akomodacji Changes in accommodation near point position						
	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05
Zmiany położenia punktu blizy konwergencji Changes in convergence near point position	*	*				
	P = 0,013	P = 0,044	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05
Zmiany częstotliwości mrugania Changes in blinking frequency						
	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05
Zmiany oceny samopoczucia Changes in general feeling evaluation						
	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05
Ilość wpisanych liczb Quantity of registered numbers						
	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05
Ilość błędnie wpisanych liczb Quantity of bed registered numbers		*	*			
	p > 0,05	P = 0,012	P = 0,021	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05
	TI-TII	TI-TIII	TI-TIV	TII-TIII	TII-TIV	TIII-TIV
Ocena warunków oświetlenia Evaluation of lighting conditions	*	*	*	*	*	*
	P = 0,0002	P = 0,00002	P = 0,000004	P = 0,0007	P = 0,00002	P = 0,0015
Subiektywne objawy zmęczenia oczu Subjective eye strain symptoms						*
	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	P = 0,033
Zmiany położenia punktu blizy akomodacji Changes in accommodation near point position						
	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05
Zmiany położenia punktu blizy konwergencji Changes in convergence near point position						
	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05
Zmiany częstotliwości mrugania Changes in blinking frequency						
	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05	p > 0,05
Zmiany oceny samopoczucia Changes in general feeling evaluation			*		*	
	p > 0,05	p > 0,05	P = 0,049	p > 0,05	P = 0,022	p > 0,05
Ilość przejranych linii tekstu na ekranie Number of revised text lines on the screen			*		*	*
	p > 0,05	p > 0,05	P = 0,00000	p > 0,05	P = 0,00007	P = 0,0015
Względna liczba odszukanych wyrazów Relative number of words found out in the text on the screen		*	*		*	*
	p > 0,05	P = 0,047	P = 0,00000	p > 0,05	P = 0,00000	P = 0,001

* Istotność statystyczna dla $p < 0,05$.

* Statistical significance for $p < 0.05$.

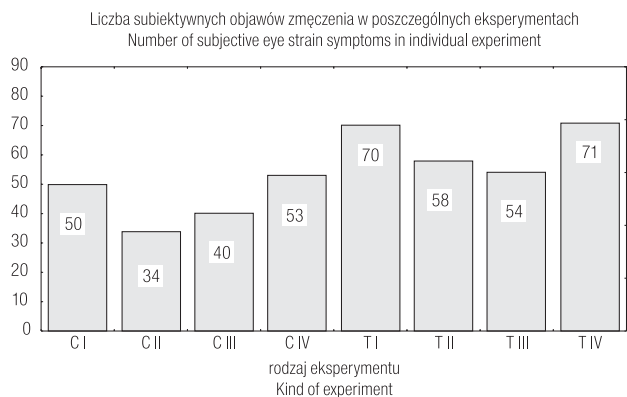
między wynikami eksperymentu TIV a wszystkimi pozostałymi (TIII, TII, TI). Porównanie wyników eksperymentów TI, TII, TIII między sobą nie wykazało istotnych różnic. Podobne zależności stwierdzono analizując ilość wyrazów odszukanych w tekście w różnych warunkach oświetleniowych.

Praca z komputerem wywołała u wolontariuszy subiektywnie odczuwane dolegliwości. Najczęściej zgłaszano ciężkość powiek, pieczenie oczu, łzawienie, migotanie

obrazu, bolesność gałek ocznych (ryc. 2 i 3). Jak widać na ryc. 1, w eksperymentach typu C (wpisywanie cyfr), w sumie u wszystkich wolontariuszy najmniej dolegliwości zarejestrowano w eksperymencie CII, czyli przy 500 lx (34 dolegliwości), natomiast w eksperymentach typu T (edycja tekstu) – w eksperymencie TIII czyli przy 300 lx (54 dolegliwości). Statystycznie istotne różnice stwierdzono tylko dla wyników CI i CII, CII i CIV oraz TIII i TIV. Zdecydowanie więcej obja-

Tabela VI. Wykaz eksperymentów w których uzyskano najkorzystniejsze wyniki
Table VI. List of experiments with the best profitable results

Badany parametr Parameter	CI	CII	CIII	CIV	TI	TII	TIII	TIV
Ocena warunków oświetlenia Evaluation of lighting conditions		✓						✓
Subiektywne objawy zmęczenia oczu Subjective eye strain symptoms		✓	✓				✓	✓
Zmiany położenia punktu bliży akomodacji Changes in accommodation near point position	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Zmiany położenia punktu bliży konwergencji Changes in convergence near point position		✓	✓		✓	✓	✓	
Zmiany częstości mrugania Changes in blinking frequency								✓
Zmiany oceny samopoczucia Changes in general feeling evaluation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Liczba przejranych linii tekstu na ekranie Number of revised text lines on the screen					✓	✓	✓	
Względna liczba odszukanych wyrazów Relative number of word found out in the text on the screen					✓	✓	✓	✓
Ilość wpisanych liczb Quantity of registered numbers	✓	✓	✓	✓				
Ilość błędnie wpisanych liczb Quantity of bad registered numbers	✓	✓						

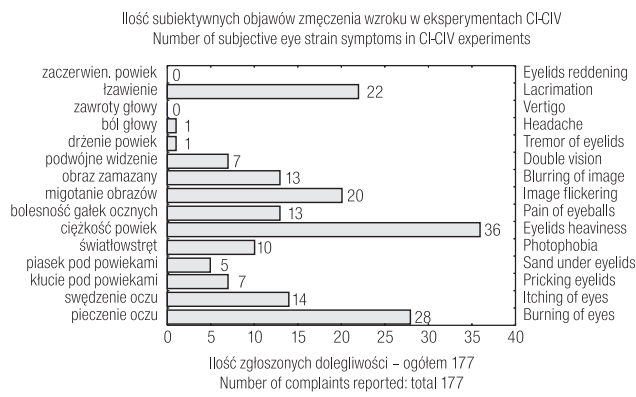


Ryc. 1. Liczba subiektywnych objawów zmęczenia wzroku w poszczególnych eksperymentach.
Fig. 1. Number of subjective eye strain symptoms in individual experiments.

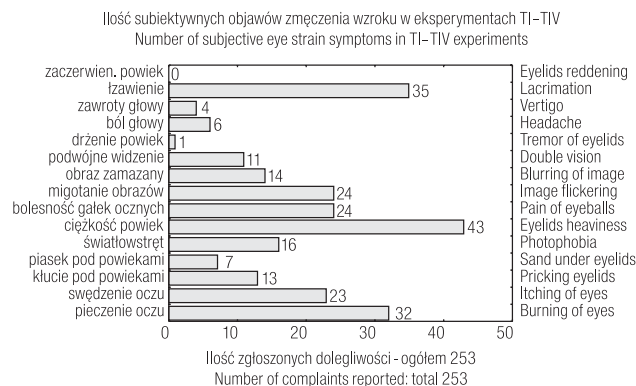
wów stwierdzono w eksperymentach polegających na edycji tekstu na ekranie.

Obiektywnie wyznaczalne objawy zmęczenia wzroku polegały na zmianie położenia punktu bliży akomodacji i punktu bliży konwergencji oraz zmianie czasu mrugania.

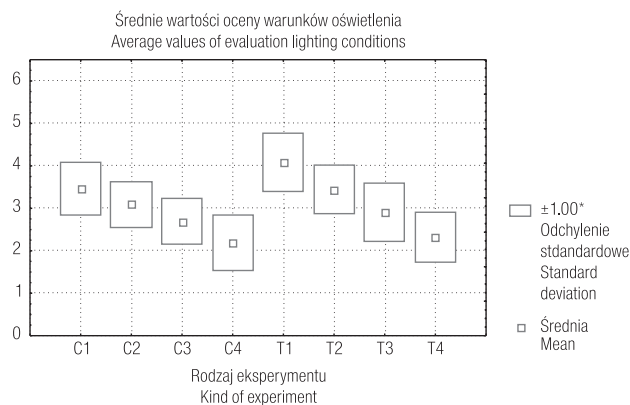
Przed rozpoczęciem pracy położenie punktu bliży akomodacji wynosiło średnio 11,5 cm. Po pracy punkt bliży akomodacji oddalał się średnio od 1,3 do 2,3 cm w zależności od rodzaju pracy i warunków oświetlenia. Stwierdzono statystyczną istotność różnic w położeniu punktu bliży akomodacji przed i po pracy, natomiast nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic między wynikami określającymi zmiany tych położzeń, uzyskanymi w poszczególnych eksperymentach.



Ryc. 2. Liczba subiektywnych objawów zmęczenia wzroku w eksperymentach CI-CIV.
Fig. 2. Number of subjective eye strain symptoms in CI-CIV experiments.



Ryc. 3. Liczba subiektywnych objawów zmęczenia wzroku w eksperymentach TI-TIV.
Fig. 3. Number of subjective eyestrain symptoms in TI-TIV experiments.



Ryc. 4. Średnie wartości oceny warunków oświetlenia w poszczególnych eksperymentach.
Fig. 4. Average values in the evaluation of lighting conditions in individual experiments.

Położenie punktu blizy konwergencji przed pracą wynosiło średnio 11,9 cm. Po pracy punkt blizy i konwergencji oddalał się średnio od 1,1 do 2,2 cm w zależności od rodzaju pracy i warunków oświetlenia. Stwierdzono statystyczną istotność różnic w położeniu punktu blizy konwergencji przed pracą i po pracy, natomiast różnice pomiędzy wynikami uzyskanymi w kolejnych eksperymentach, określającymi zmiany tych położenia, statystycznie istotne były tylko dla CI i CII oraz CI i CIII.

Pomiary czasu trwania 20 mrugnięć wykazały, że przed pracą wynosił on średnio 185 s, natomiast po pracy skracał się od 13 do 54 s – w zależności od eksperymentu. Stwierdzono statystyczną istotność różnic w czasie mrugania przed pracą i po pracy w eksperymentach TI-TIV, natomiast nie stwierdzono znamienych różnic pomiędzy wynikami określającymi zmiany czasu mrugania, uzyskanymi w poszczególnych eksperymentach.

O poziomie dyskomfortu spowodowanego pracą w różnych warunkach oświetlenia mówi m.in. subiektywna ocena warunków oświetlenia w każdym z eksperymentów (ryc. 4). Za odpowiednie warunki oświetlenia przy wpisywaniu liczb do komputera uznano warunki w eksperymentach CI, CII i CIII, natomiast podczas edycji tekstu na ekranie – warunki oświetlenia w eksperymentach TII i TIII. Oświetlenie w eksperymentach CIV i TIV oceniono jako zbyt ciemne, natomiast w eksperymentach TI – za zbyt jasne.

Ocena samopoczucia wg skali analogowej 0–10 wykazała, że przed podjęciem pracy wolontariusze swoje samopoczucie oceniali średnio na 7,5 co oznacza samopoczucie raczej dobre (raczej rześki, wypoczęty, mający zapał, silny, raczej zainteresowany). Po pracy średnia ocena samopoczucia wynosiła od 5,5 do 6,8 co oznacza samopoczucie przeciętne.

Stwierdzono, że różnice w ocenie samopoczucia przed pracą i po pracy (największą w eksperymentach CIV i TIV) nie były przypadkowe, natomiast statystyczną istotność różnic pomiędzy wynikami określającymi zmiany tej oceny, uzyskano tylko w przypadku eksperymentów TI-TIV i TII-TIV.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Celem przeprowadzonych badań było uzyskanie odpowiedzi na pytanie – przy jakich poziomach natężenia oświetlenia na doświadczalnym stanowisku komputerowym praca operatorów jest wykonywana najwydajniej, powstałe zmęczenie oczu jest najmniejsze, a samopoczucie najkorzystniejsze.

W przyjętych warunkach doświadczalnych nie ujawnił się wpływ poziomu natężenia oświetlenia na szybkość wpisywania liczb do komputera. Przy każdym z zastosowanych poziomów natężenia oświetlenia wolontariusze wpisywali podobną liczbę znaków. Można stwierdzić, że wykonywana praca nie wywołała u wolontariuszy znaczącego zmęczenia, czego powodem był zapewne m.in. przyjęty, mechaniczny sposób realizacji pracy tzn. skupienie się przede wszystkim na dokumentacji i numerycznej części klawiatury oraz związane z tym rzadkie przenoszenie wzroku na ekran.

Dokładność wykonania pracy była natomiast – jak stwierdzono – zależna od natężenia oświetlenia. Zdecydowanie najmniej błędów popełniono w eksperymencie CI czyli przy 750 lx i odpowiednio więcej w eksperymentach CII, CIII i CIV. Wiązać to należy z najlepszą czytelnością dokumentacji przy najwyższym natężeniu oświetlenia. Szybkość i dokładność przeglądania tekstu na ekranie monitora była zbliżona w eksperymentach TI, TII i TIII, natomiast nieco mniejsza w eksperymencie TIV, czyli z najniższym natężeniem oświetlenia.

O pojawianiu się subiektywnych dolegliwości oczu w wyniku pracy z komputerem donoszą liczne źródła literaturowe (1,3,4,5,11,14). Także nasze badania wykazały, że praca z monitorami komputerowymi prowadzi do powstania dolegliwości oczu tj.: ciężkość powiek, pieczenie oczu, łzawienie, migotanie obrazu i bolesność gałek ocznych. Jak stwierdzono, podczas wpisywania cyfr do komputera najmniej dolegliwości wolontariusze odczuwali pracując przy 500 lx, a podczas przeglądania tekstu na ekranie monitora – przy 300 lx. Zdecydowanie więcej dolegliwości pojawiało się podczas edycji tekstu na ekranie (czyli w eksperymentach TI-TIV).

Nie potwierdziły się oczekiwania, że większym wysiłkiem dla oczu jest konieczność częstego przenoszenia wzroku na różne płaszczyzny w eksperymentach CI-CIV. Fakt, że ciągła obserwacja ekranu (podczas edycji tekstu) okazuje się bardziej męcząca od pracy polegającej na wpisywaniu cyfr do komputera wynika prawdopodobnie przede wszystkim z reakcji narządu wzroku na tętnienie ekranu, będące efektem zasady działania monitora (13). Z badań elektrofizjologicznych wynika, że tętnienie strumienia świetlnego z częstotliwością do 100 Hz (z jaką następuje odtwarzanie obrazu na ekranie monitora) niekorzystnie wpływa na aktywność bioelektryczną mózgu zmieniając rytm alfa i zakłócając adaptację oczu do światła, a tym samym przyspieszając zmęczenie oczu (11). Większą uciążliwość dla oczu pracy typu „dialog z komputerem” potwierdzają dane literaturowe (11,15).

Wyniki badań takich funkcji wzrokowych jak akomodacja i konwergencja, które ujawniły odsunięcie się od oka punktu

bliży akomodacji (średnio o 1,3–2,3 cm) i punktu bliży konwergencji (średnio o 1,1–2,2 cm) są kolejnym dowodem na zmęczenie oczu w wyniku pracy z komputerem. Zmieniona zdolność akomodacyjna i konwergencyjna świadczy o zmęczeniu mięśni rzęskowych i okoruchowych. Nie potwierdzono istotnej zależności między zmianami położenia tych punktów a natężeniem oświetlenia, jednak zaobserwowano najmniejsze średnie zmiany położenia punktu bliży konwergencji przy 500 i 300 lx. Świadectwem powstającego zmęczenia oczu jest też statystycznie istotne zwiększenie częstotliwości mrugania po wykonaniu pracy w eksperymentach TI–TIV.

Prowadzone w innych ośrodkach badania dotyczące oddziaływania pracy przy monitorze na układ wzrokowy także wykazały osłabienie akomodacji i konwergencji oraz zwiększenie częstości mrugania (4,16). Według Trusiewicz i wsp. (16) po 1-godzinnej pracy z komputerem (odczytywanie tekstu z komputera) średnia zmiana położenia punktu bliży konwergencji wynosiła 4 cm zanotowano także istotne osłabienie akomodacji.

Samopoczucie wolontariuszy zmieniało się w niewielkim stopniu – z dobrego przed pracą na przeciętne po pracy – co świadczy o niewątpliwym obciążeniu pracą ale i o zachowaniu przez wolontariuszy jeszcze dużych rezerw fizycznych i psychicznych.

Odczucia wolontariuszy co do optymalności danego natężenia oświetlenia na stanowisku komputerowym odzwierciedliła wreszcie ocena warunków oświetlenia. Dla pracy polegającej na wpisywaniu liczb do komputera jako najodpowiedniejsze określano najczęściej natężenia 750–300 lx, a dla pracy z tekstem na ekranie monitora – natężenie 500–300 lx. Średnia arytmetyczna ocen warunków oświetlenia wskazuje 500 lx, jako najoptymalniejsze podczas wpisywania cyfr oraz 300 lx podczas korekty tekstu na ekranie. Niekorzystne wydawało się natężenie 200 lx bez względu na rodzaj pracy wykonywanej z komputerem oraz 750 lx podczas korekty tekstu na monitorze.

Jak przedstawiono w tabeli VI, podczas wpisywania cyfr do komputera dobra wydajność pracy wystąpiła przy 750 i 500 lx, najniższy stopień zmęczenia oczu przy 500 i 300 lx, natomiast według subiektywnej oceny wolontariuszy najprzyjemniejsze warunki oświetlenia występowały przy poziomie 500 lx.

Podczas przeprowadzania edycji tekstu na ekranie dobrą wydajność pracy zapewniało oświetlenie o natężeniu 750, 500 i 300 lx, najmniejszy stopień zmęczenia oczu wystąpił przy 500 i 300 lx, a subiektywne odczucie najkorzystniejszych warunków oświetlenia wystąpiło przy 300 lx.

Według uzyskanych wyników badań poziom natężenia oświetlenia 200 lx jest zbyt niski dla stanowiska komputerowego, natomiast możliwy do zaakceptowania jest cały zakres 300–750 lx, przy czym wskazany byłby dobór danego poziomu natężenia oświetlenia do rodzaju pracy z komputerem (wpisywanie danych, edycja tekstu na ekranie, praca dorywcza, praca długotrwała). Decyzję co do wartości natężenia

oświetlenia danego stanowiska komputerowego należałoby zatem podjąć przy uwzględnieniu specyfiki pracy jaka się tam odbywa. Na stanowisku, gdzie odczytuje się dane z dokumentacji i wpisuje do komputera za najkorzystniejsze – wg wyników naszych badań – można uznać 500 lx, uzasadnione byłoby jednak zastosowanie 300 lx w przypadku, gdy czynności wykonywane są sporadycznie (dorywczo) lub 750 lx, gdy wykonywana jest praca o wysokim stopniu trudności (duże tempo pracy, drobny druk). Z kolei podczas edycji tekstu na ekranie za najkorzystniejsze – wg naszych badań – można uznać 300 lx.

Według NIOSH zaleca się natężenie oświetlenia 300–700 lx, gdy nie korzysta się z dokumentów źródłowych oraz 500–700 lx gdy zachodzi potrzeba korzystania z dodatkowych dokumentów, w normach szwedzkich zalecany jest poziom 200–300 lx, w normach angielskich, nowozelandzkich czy kanadyjskich 300–500 lx, natomiast w normach niemieckich 300–500 lx dla monitorów z dodatkowym kontrastem luminancji (jasne znaki na ciemnym tle) oraz 500 i więcej lx – dla monitorów z ujemnym kontrastem luminancji (ciemne znaki na jasnym tle) (5,6,8). Według norm ISO w pokojach komputerowych zalecane jest 500 lx, jednak sugerowane jest 300 lx, gdy współczynniki odbicia obserwowanych płaszczyzn są zbyt wysokie, gdy przy 500 lx powstają zbyt duże kontrasty luminancji, gdy nie ma dużego znaczenia szybkość i/lub dokładność wykonania pracy lub gdy zadania wykonywane są okazjonalnie. Natomiast można przyjąć wartość 750 lx, gdy ryzyko błędu jest zbyt wysokie, gdy wymagana jest wysoka wydajność pracy, gdy współczynniki odbicia obserwowanych płaszczyzn są zbyt małe lub gdy możliwości wizualne pracownika są poniżej średniej (9,17,18).

WNIOSKI

Biorąc pod uwagę wyniki wykonanych badań oraz znane zalecenia międzynarodowe można stwierdzić, że:

- praca na stanowisku komputerowym może powodować przeciążenie narządu wzroku, objawiające się m.in. subiektywnymi dolegliwościami oczu i przejściowym osłabieniem funkcji akomodacji i konwergencji;
- praca typu „edycja tekstu na ekranie” w większym stopniu obciąża narząd wzroku niż praca polegająca na wpisywaniu danych do komputera;
- poziom natężenia oświetlenia na wszystkich stanowiskach komputerowych powinien być wyższy od 200 lx;
- za optymalny poziom natężenia oświetlenia na płaszczyźnie poziomej stanowiska komputerowego należy przyjąć:
 - 500 lx w przypadku prac niewymagających ciągłej obserwacji ekranu monitora, (polegających np. na odczytywaniu danych z dokumentacji i wpisywaniu ich do komputera),
 - 300 lx w przypadku wykonywania prac polegających na obserwacji treści ekranu monitora.
- optymalna organizacja stanowiska pracy operatora komputerowego powinna cechować się możliwością doboru poziomu natężenia oświetlenia odpowiedniego do rodzaju wykonywanej czynności.

PIŚMIENNICTWO

1. Pachocki K.: Warunki pracy przy monitorach ekranowych. *Ochrona Pr.* 1988; 2: 23–25.
2. Praca przy monitorach ekranowych. Opracowanie na podst. art. Greuter W., Marti B., Schlegel H.: *Die Arbeit am Bildschirm. Sicher Arbeiten.* *Bezp. Pr.* 1988; 1: 27–30.
3. Styczyński A.: Zmęczenie wzroku u osób pracujących przy komputerze. *Optyka-Optometria* 1992; 3: 15–18.
4. Niesłuchowska M.: Wpływ pracy przy monitorach komputerowych na układ wzrokowy. *Klin. Oczna* 1994; 96 (5): 107–109.
5. Ergonomia na stanowiskach pracy z mikrokomputerami. CIOP, Warszawa 1990.
6. Approved code of practice for the Safe use of visual display units. OSH, New Zeland 1993.
7. Dyrektywa Rady EWG 90/270/EWG z 29 maja 1990 r. dotycząca minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia przy pracy z urządzeniami wyposażonymi w monitory ekranowe. Wydawnictwo CIOP, Warszawa 1992.
8. Ergonomics for workplaces with visual display terminals. CCOHS, Canada 1989, ss. 89–22E.
9. ISO 9241.3.1992: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals. Part 3 and 4. ISO, Geneva 1992.
10. Rozporządzenie MPiPS z dnia 1.12.1998 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy na stanowiskach wyposażonych w monitory ekranowe. *DzU* nr 148, poz. 973, 1998.
11. Salomon E., Borodulin-Nadzieja L., Janocha A.: Zmęczenie narządu wzroku podczas pracy z monitorem komputerowym. *Med. Pr.* 1997; 48 (3): 341–346.
12. PN-84/E-02033. Oświetlenie wewnątrz światłem elektrycznym. Wydawnictwo Normalizacyjne ALFA, 1984.
13. Świętochowski J.: Poprawa warunków pracy wzrokowej na stanowiskach z monitorami ekranowymi. *Ochrona Pr.* 1990; 6: 7–10.
14. Bartosińska M., Ejsmont J., Tukalska-Parszuto M.: Chorobowość pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy wyposażonych w komputery. *Med. Pr.* 2001; 52 (3): 185–195.
15. Trusiewicz D., Kordelewska A., Niesłuchowska M.: Obciążenie narządu wzroku. W: Bugajska J. [red.]. *Komputerowe stanowisko pracy. Aspekty zdrowotne i ergonomiczne.* CIOP, Warszawa 1999.
16. Trusiewicz D., Niesłuchowska M., Makuszevska-Chętnik Z.: Objawy zmęczenia wzroku po pracy z komputerem ekranowym. *Klin. Oczna* 1995; 11–12: 343–345.
17. Guide on interior lighting. Wyd. 2. Publication CIE, Vienna 1986.
18. ISO 8995: Principles of visual ergonomics. The lighting of indoor work system. ISO, Geneva 1989.