

Światło niebieskie a nastrój – rola pory i długości ekspozycji oraz typu okołodobowego

Patrycja Siemiginowska*, Krystyna Golonka

Uniwersytet Jagielloński, Kraków

Irena Iskra-Golec

SWPS Uniwersytet Humanistycznospołeczny, Poznań

BLUE LIGHT AND MOOD – THE ROLE OF TIMING AND DURATION OF EXPOSURE CHARACTERISTICS AND CIRCADIAN TYPE

The goal of this article is to present the results of the experiment conducted to find out if individual differences in circadian clock characteristics (circadian type) moderated timing and duration of exposure to blue light on mood. Circadian type measured by Circadian Type Inventory (DiMilia, Smith i Folkard, 2005) has two dimensions: languidity (languid – vigorous) and flexibility (flexible – rigid). 30 young men took part in counterbalanced repeated-measures experiment with blue and white light conditions emitted at three times of day (morning, afternoon, and evening). Mood was measured with Thayer's Activation-Deactivation Adjective Check List after short (30 minutes) and prolonged (4 hours) exposure. Results showed that languidity moderated blue light effect in two characteristics of mood: tension and calmness. In blue light when compared to white light conditions languid types were tenser (in both short and prolonged exposure) and calmer after prolonged exposure than vigorous types. Additionally, in languid types two phenomena were noted: decrease of calmness after short exposure to blue light in the afternoon when compared to white light and increase of calmness in the evening in blue light when compared to morning and afternoon exposure. Prolonged blue light exposure to blue light in contrast to white light made languid types more tense and less calm. Obtained results are in line with alerting effects of blue light and take into account the role of individual differences in circadian clock characteristics (dimension of circadian type: languidity).

Key words: monochromatic blue light, circadian type, mood, timing, duration of exposure

WPROWADZENIE

Zegar biologiczny człowieka jest synchronizowany m.in. przez światło, które jest jednym z najważniejszych dawców czasu (z niem. *zeitgeber*). W świetle badań naukowych rytmy okołodobowe okazują się być szczególnie wrażliwe na światło o krótkich falach (barwa niebieska) (np. Revell i in., 2005; Brainard i in., 2008). Dotąd nad monochromatycznym światłem niebieskim prowadzono badania, w których stosowano różne pory aplikacji (np. Phipps-Nelson i in., 2009; Sahin i Figueiro, 2013; Okamoto i in., 2014) oraz czasy ekspozycji (Cajochen i in., 2005; Lockley i in., 2006; Vandewalle i in., 2010). W niniejszym artykule zostanie przedstawiony wpływ czasu i pory ekspozycji w ciągu dnia na efekt monochromatycznego światła niebieskiego (MŚN) w zakresie nastroju oraz omówiona zostanie moderująca rola różnic indywidualnych związanych z działaniem zegara biologicznego na ten efekt.

Oprócz procesów związanych z formowaniem obrazu, ludzkie oko bierze udział również w przesyłaniu pozawizualnych sygnałów do mózgu. W tym procesie bierze udział niewielki procent (1-2%) komórek zwojowych siatkówki oka szczególnie wrażliwych na melanopsynę. Komórki te posiadają bezpośrednie projekcje do zegara biologicznego (jądra nadskrzyżowaniowe podwzgórza, suprachiasmatic nuclei, SCN) oraz pośrednio (przez SCN) do ośrodków mózgu związanych z pobudzeniem oraz przetwarzaniem bodźców emocjonalnych (ciało migdałowe, podwzgórze) (Cajochen, 2007). Melanopsyna reguluje przetwarzanie bodźców wzrokowych u myszy i jest zaangażowana w dobową regulację funkcji siatkówki. Myszy pozbawione genu melanopsyny traciły kontrolę nad okołodobowymi parametrami i wykazywały większą wariację odbierania sygnałów wzrokowych przy pomocy czopków, co sugeruje zaangażowanie tego typu fotopigmentu w optymalizację klasycznych ścieżek wzrokowych w zależności od pory dnia (Barnard i in., 2006). LaGates

* Korespondencję dotyczącą artykułu można kierować na adres: Patrycja Siemiginowska, Instytut Psychologii Stosowanej UJ, ul. Łojasiewicza 4, 30-348 Kraków.

patrycja.siemiginowska@uj.edu.pl

Badania są częścią projektu sfinansowanego przez Narodowe Centrum Nauki na podstawie decyzji nr UMO-2013/09/B/HS6/02646 (program OPUS 5).

i współpracownicy (2012) wykazali ponadto, że u myszy aplikowanie nietypowego światła wpływało na nastrój (konkretnie: na jego obniżenie i zwiększenie symptomów zbliżonych do depresji) oraz zdolności do uczenia się bezpośrednio przez światłoczułe komórki zwojowe siatkówki oka. Są one zatem potencjalnie istotnymi elementami biologicznej odpowiedzi organizmu na zmiany parametrów światła. Wykazano już, że u ludzi niebieskie światło może wpływać zarówno na zegar biologiczny (Brainard i in., 2008), jak również modulować odpowiedź emocjonalną na bodźce (Vandewalle i in., 2010). Przedłużona ekspozycja na monochromatyczne światło niebieskie (MŚN) może wiązać się z przesunięciem fazy rytmu okołodobowego (maksymalnej wartości rytmu w ciągu doby) lub ograniczeniem wydzielania melatoniny (np. Lockley i in., 2006). Z kolei krótka ekspozycja może istotnie wpływać na przetwarzanie bodźców – np. zwiększać reakcje na bodźce emocjonalne w korze skroniowej i hipokampie, w porównaniu do ekspozycji na inny rodzaj oświetlenia, np. światło zielone (Vandewalle i in., 2010). Pozawizualne efekty niebieskiego światła obejmują m. in. subiektywnie wyższe pobudzenie oraz wzmożoną aktywność bioelektryczną mózgu (spadek amplitudy w zakresie pasm delta i teta), spadek subiektywnej senności, a także lepsze wykonanie zadań poznawczych, szybsze reakcje na bodźce słuchowe i zmniejszony spadek uwagi (Cajochen i in., 2005; Vandewalle i in., 2011; Rahman i in., 2014).

Hoffmann i in. (2008) wykazali, że światło białe wzbogacone widmem niebieskim może wpływać na nastój badanych. Efekt ten był badany w porównaniu do warunków kontrolnych (zwykłego biurowego oświetlenia). Okazało się, że w eksperymentalnym oświetleniu rosła aktywacja osób badanych, jednocześnie jednak z upływem dnia wzrastało ich zmęczenie. Oprócz zastosowań w oświetlaniu stanowisk pracy, światło niebieskie coraz częściej wykorzystywane jest do celów terapeutycznych, głównie w zakresie leczenia sezonowych zaburzeń nastroju i ich subklinicznej postaci, ale także zaburzeń rytmu okołodobowego, a nawet depresji i choroby dwubiegunowej. Terapeutyczne oddziaływanie światła wykorzystywane jest dwojako: do podnoszenia nastroju oraz do przesuwania fazy rytmu okołodobowego (a dokładniej: do jej przyspieszania) (Lewy i in., 2006; Cajochen, 2007; Terman, 2007; Pinho i in., 2016).

W eksperymencie badającym pobudzający efekt monochromatycznego światła niebieskiego administrowanego w ciągu dnia wykazano, że wpływ tego rodzaju oświetlenia na bioelektryczną aktywność mózgu był zależny od czasu trwania i pory ekspozycji (Iskra-Golec i in., 2017). Krótka (30-minutowa) ekspozycja wczesnym popołudniem i wieczorem miała właściwości pobudzające, co wyrażało się w spadku amplitudy w pasmach delta, teta i alfa1. Natomiast przy zastosowaniu przedłużonej ekspozycji (4-godzinnej) odnotowano odwrotne tendencje: rano zaobserwowano wzrost amplitudy w zakresie fal teta, a popołudniem – wzrost amplitudy w pasmach teta i alfa1.

Niebieskie światło może mieć odmienne skutki oddziaływania na osoby z polimorfizmem genu PERIOD3 (PER3) odpowiedzialnego za synchronizację rytmu snu i czuwania (Vandewalle i Dijk, 2013; Chellappa i in., 2014). Osoby z polimorfizmem PER3^{5/5}, oprócz tego, że statystycznie częściej były porannymi chronotypami i preferowały aktywność w godzinach rannych, okazały się bardziej wrażliwe na pozawizualne efekty działania światła wzbogaconego wiązką niebieską. Zaobserwowano u nich bardziej wyraźne zahamowanie wydzielania melatoniny w nocy oraz większą bioelektryczną aktywność mózgu w zakresie wolnych fal w czasie czuwania oraz wyższą amplitudę w czasie snu wolnofalowego. Ponadto, uznawały oświetlenie z wiązką niebieską za jaśniejsze, niż osoby z mutacją PER3^{4/4} (uznawane częściej za typy wieczorne). Niejednakowe reakcje na światło białe wzbogacone widmem niebieskim i jego pozawizualne efekty u osób z polimorfizmem genu PER3 pozwalają przypuszczać, że także osoby różniące się w zakresie innych własności działania zegara biologicznego mogą reagować odmiennie na niebieskie światło w zakresie nastroju, którego zmiany są jednym z pozawizualnych rezultatów działania światła.

Ponieważ zegar biologiczny wpływa na regulację nastroju (np. Hampp i in., 2008), a światło jest sygnałem dla zegara biologicznego, to u osób różniących się w zakresie zmiennych indywidualnych związanych z działaniem zegara biologicznego może wystąpić odmienny przebieg nastroju w ciągu dnia w wyniku ekspozycji na światło. Już w 1992 roku Caminada i de Bruijn wykazali, że nastrój zależy od chronotypu. W porównaniu do chronotypów mieszanych i wieczornych, poranne w godzinach rannych (o 9.00) uzyskiwały istotnie wyższe wyniki pobudzenia energetycznego oraz osiągały najwyższe wartości pobudzenia najwcześniej w ciągu dnia (o godz. 14.27 w porównaniu do mieszanych – o godz. 16.25 i wieczornych – o godz. 18.04). Także w badaniach Jankowskiego i Ciarkowskiej (2008) przebieg nastroju u osób różniących się w zakresie chronotypu był odmienny – zależał również od pory dnia. Autorzy wykazali, że pobudzenie energetyczne (jeden z wymiarów nastroju mierzonych przy pomocy Przymiotnikowej Skali Nastroju UMACL (UWIST Mood Adjective Checklist) w adaptacji Goryńskiej z 2005 roku) było istotnie wyższe od 8.00 do 17.00 u skrajnych typów porannych w porównaniu z wieczornymi. W ciągu dnia pobudzenie energetyczne u typów porannych rosło osiągając najwyższą wartość w godzinach 11.00-12.30, a następnie malało w porze wieczornej, kiedy jego wartość była najniższa (20.00). Z kolei u typów skrajnie wieczornych pobudzenie energetyczne było najniższe rano i rosło liniowo do godzin wieczornych, kiedy osiągało najwyższy poziom (zbliżony do najniższej wartości pobudzenia energetycznego typów porannych). Różnice w zakresie pobudzenia energetycznego pomiędzy typami zacierają się w godzinach wieczornych. Pobudzenie napięciowe u obu chronotypów przybierało postać wykresu u-kształtnego – najwyższe wartości odnotowano rano, najniższe po południu i ro-

snące w godzinach wieczornych, nie osiągające jednak tego samego poziomu, co w godzinach porannych. Konsekwentnie wartości pobudzenia napięciowego w ciągu dnia u typów porannych były niższe, niż u typów wieczornych (wykresy pobudzenia napięciowego przebiegały równolegle). Ton hedonistyczny miał postać „fali” u obu chronotypów, najniższe wartości osiągając rano, umiarkowanie wysokie popołudniu, malejące do godziny 17.00 i znów rosnące w godzinach wieczornych. Typy poranne o każdej porze wykazywały wyższy poziom tonu hedonistycznego, niż skrajnie wieczorne.

Według przeglądu badań Adan i in. (2012) chronotyp, opisujący zmienność fazy rytmu okołodobowego, jest najbardziej znaną miarą różnic indywidualnych związanych z działaniem zegara biologicznego. Inną, rzadziej stosowaną miarą jest typ okołodobowy obrazujący różnice amplitudy i stałości rytmu (Folkard, Monk i Lobban, 1979; DiMilia, Smith i Folkard, 2005). Na typ okołodobowy składają się dwie dymensje: niezdolności opanowania senności, związanej z amplitudą rytmu okołodobowego (od typu ospałego do rześkiego) oraz elastyczności nawyków snu, powiązanej ze stałością rytmu (od elastycznego do sztywnego). Typy ospałe w porównaniu do rześkich, z większą trudnością przezwyciężają senność, tym bardziej jeśli ich sen nocny został skrócony lub zakłócony. Wykazują niższe subiektywne pobudzenie, szczególnie wczesnym rankiem oraz w godzinach popołudniowych. Typy sztywne z kolei, rzadziej, niż elastyczne modyfikują godziny kładzenia się do łóżek czy czas swojego snu. Są także mniej skłonne do zasypiania o nietypowych porach (DiMilia, Smith i Folkard, 2005). Oba wymiary typu okołodobowego wiążą się teoretycznie z procesami C (regulacja biologicznych rytmów, np. cyklu snu i czuwania, wewnętrznej ciepłoty ciała) oraz S (homeostatyczne procesy biochemicznej równowagi, np. poziom melatoniny) i inercją snu (wzrostem senności rano) (Akerstedt i Folkard, 1997). Okresy naturalnego spadku pobudzenia zgodnie z tym modelem występują wczesnie rano, wieczorem oraz w nocy. Znane są także spadki pobudzenia wczesnym popołudniem (post lunch dip, np. Blake, 1967).

Biorąc pod uwagę przedstawione wyniki badań można zakładać, że zmienne indywidualne związane z działaniem zegara biologicznego: 1) niezdolność opanowania senności oraz 2) elastyczność nawyków snu (wymiaru typu okołodobowego), będą miały moderujący wpływ na efekt niebieskiego światła na nastrój i że efekt ten będzie zależał również od pory i czasu ekspozycji. Powyższe hipotezy mają charakter eksploracyjny z uwagi na nowatorski charakter badań.

METODA BADAWCZA

OSOBY BADANE

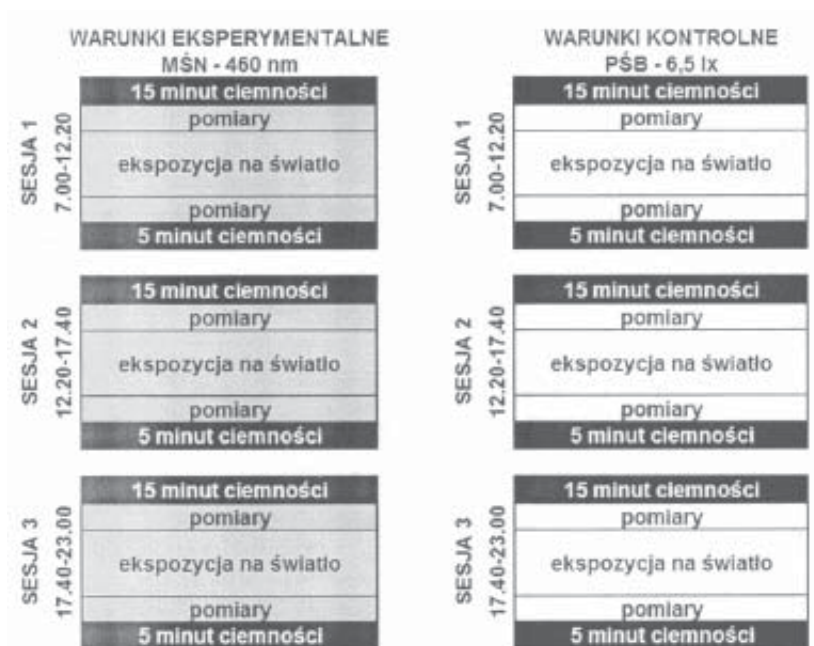
Uczestnikami eksperymentu byli młodzi mężczyźni, ochotnicy w wieku 19-31 lat ($N=30$, $M=22.87$ lat, $SD=3.34$ lat), spełniający następujące kryteria selekcyjne: zachowywanie regularnego rytmu snu i czuwania (kładzenie się spać ok. 23.00 i wstawanie ok. 7.00), aktywność w trybie dziennym

(kryterium wykluczające: praca zmianowa i praca nocna), brak pokonywania stref czasowych w okresie 6 miesięcy poprzedzających zgłoszenie się do eksperymentu, zdolność rozróżniania barw. Wszyscy uczestnicy badania wyrazili pisemną zgodę na udział w eksperymencie, który uzyskał pozytywną opinię komisji ds. etyki badań naukowych. Badani uczestniczyli w eksperymencie przez 6 dni, w sześciu kolejnych sesjach: trzech w świetle białym (rano, popołudniu i wieczorem) i trzech w niebieskim (analogicznie, w sesji porannej, popołudniowej i wieczornej). Badani utrzymywali regularne pory snu i czuwania w czasie eksperymentu, co kontrolowane było przy użyciu Pittsburskiego *Indeksu Jakości Snu* (Pittsburg Sleep Quality Index) zmodyfikowanego do codziennych pomiarów (Buysse i in., 1989). Na podstawie wyników tego narzędzia uzyskanych na miesiąc przed eksperymentem wyróżniono chronotypy poranne i wieczorne dzieląc grupę za pomocą mediany (użyto wyników narzędzia MEQ, Horne'a i Ostberga, 1976; w badanej grupie α Cronbacha=.75; $M=44.53$; $SD=7.78$; $Me=46$). Typy wieczorne ($N=15$) to mężczyźni, którzy uzyskali wyniki poniżej wartości mediany. Średnio kładli się spać między 22.30 a 3.00 i wstawali między 7.00 a południem (pora środkowa snu: 4.52). Z kolei typy poranne ($N=15$) kładli się spać między 22.00 a 1.30 i stawali między 5.30 a 9.00 (pora środkowa snu: 3.32). Osoby o chronotypie wieczornym i porannym różniły się istotnie w zakresie pór wstawania, zasypiania oraz środkowej pory snu (odpowiednio: $F(1,28)=8.752$; $p<.01$, $F(1,28)=9.615$; $p<.01$ i $F(1,28)=15.296$; $p<.001$). Warto zaznaczyć, że dotychczasowe wyniki badań podkreślają, iż chronotyp studentów jest zazwyczaj nieco przesunięty w kierunku wieczorności (Adan i Natale, 2002). Podobnie było w przypadku tego eksperymentu.

W trakcie ekspozycji na światło badani przebywali w stałych warunkach laboratorium. Kontrolowano aktywność badanych (badani mogli słuchać muzyki lub czytać) oraz spożywane posiłki (niskokaloryczne przekąski, woda). Poproszono o powstrzymanie się przed oraz w trakcie sesji od picia kawy i słodzonych napojów gazowanych oraz spożywania wysokoenergetycznych posiłków (np. posiłki typu *fast food*, słodycze, itp.). Za udział w eksperymencie badani otrzymali wynagrodzenie.

PROCEDURA

Zastosowano eksperyment naprzemienny z powtarzaniem pomiarów w warunkach monochromatycznego światła niebieskiego (MŚN) i polichromatycznego światła białego (PŚB – warunki kontrolne). Oświetlenie eksperymentalne i kontrolne były porównywalne pod względem luminancji (.677 – .762 cd/m²), natomiast ze względu na naturę światła różniły się w zakresie pozostałych jego parametrów (MŚN – 460 nm, irradancja 11,8 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, PŚB – intensywność 6.5 lx). Eksperyment rozpoczęto jesienią (listopad) i zakończono zimą (styczeń). Badania odbywały się w specjalnie przygotowanym laboratorium, którego powierzchnie były białe. Samo pomieszczenie było pozbawione innych, niż eksperymentalne bądź kontrolne, źródeł światła. W suficie zamieszczono cztery



Ryc. 1. Schemat eksperymentu

zdalnie sterowane panele LEDowe specjalnie zaprojektowane na potrzeby eksperymentu. Zadbano o to, aby światło było rozproszone równomiernie w całym pokoju i weryfikowano jego parametry losowo w czasie trwania eksperymentu. Ponadto utrzymywano stały poziom wilgotności powietrza i temperatury. Każdego dnia odbywały się trzy sesje: poranna (7.00-12.20), popołudniowa (12.20 – 17.40) oraz wieczorna (17.40 – 23.00) (Rycina 1).

Sesje i warunki oświetlenia następowały u każdej z badanych osób losowo. Wszystkie sesje rozpoczynały się i kończyły krótkim okresem ciemności (odpowiednio 15 i 5 minut), ponieważ bezpośredni efekt światła na pobudzenie zależy od tego, na jakie światło było się narażonym przed ekspozycją (Chang i in., 2013). Po 30 minutach i 4 godzinach ekspozycji badanych proszono o wypełnienie arkuszy do mierzenia nastroju.

POMIARY NASTROJU

Do pomiaru nastroju w eksperymencie zastosowano Listę Thayera (Activation-Deactivation Adjective Check List, ADAACL, 1978). Metoda ta jest uważana za jedno z najlepszych narzędzi do mierzenia subiektywnego pobudzenia oraz zmęczenia w badaniach dziennego przebiegu nastroju (van Dongen, Dinges, 2000). Składa się z 20 przymiotników. Zadaniem badanych jest określenie, jak się czują w danej chwili i zaznaczenie odpowiedzi w skali Likerta przy każdej pozycji (od 1 – „zdecydowanie nie” do 4 – „zdecydowanie tak”). Lista została podzielona na cztery podskale liczące po 5 przymiotników: Energia

(np. aktywny, pełen energii), Napięcie (np. przewrażliwiony, pełen obaw), Zmęczenie (np. ospały, zmęczony) i Spokój (np. wyciszony, opanowany).

POMIAR TYPU OKOŁODOBOWEGO

Badanie typu okołodobowego przeprowadzono przy pomocy *Inwentarza Typu Okołodobowego (Circadian Type Inventory, DiMilia, Smith i Folkard, 2005)* – samoopisowej metody złożonej z 11 pozycji. Zadaniem badanych było zaznaczenie częstości występowania sytuacji przedstawionych w pytaniach. Odpowiedzi markowane były w 5-stopniowej skali Likerta (od 1-„nigdy” do 5-„prawie zawsze”). Wyniki uzyskano w dwóch podskalach: Niezdolności opanowania senności (6 pozycji, α Cronbacha w próbie: .75) oraz Elastyczności nawyków snu (5 pozycji, α Cronbacha: .88). Przykładowe pytania z podskal brzmiały: „Czy uważasz, że potrzebujesz więcej snu, niż inni ludzie?” (Niezdolność opanowania senności) oraz „Czy jest Ci tak samo łatwo pracować późno w nocy, jak i wcześniej w ciągu dnia?” (Elastyczność nawyków snu).

ANALIZA STATYSTYCZNA

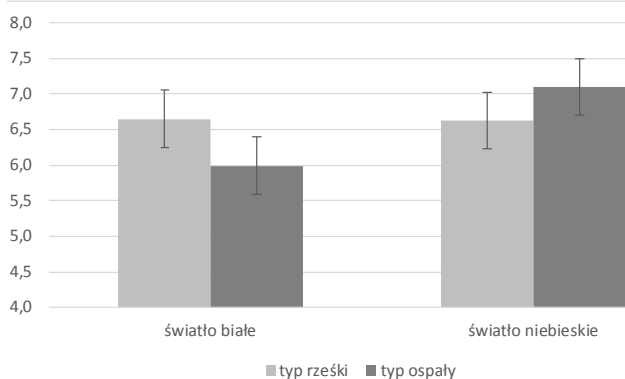
Przeprowadzono mieszaną analizę wariancji z powtarzanymi pomiarami, w której czynnikami międzyobiektywnymi były wymiary typu okołodobowego (niezdolność opanowania senności, elastyczność nawyków snu). Natomiast czynniki wewnątrzobiektywne stanowiły: warunki oświetlenia (MŚN, PŚB), pora ekspozycji (sesja

poranna, popołudniowa, wieczorna) oraz czas ekspozycji (30 minut, 4 godziny). Jeśli wystąpiły istotne interakcje czynników międzyobiektywnych i wewnątrzobiektywnych, przeprowadzono odpowiednie porównania parami przy pomocy testu *t*-Studenta.

REZULTATY

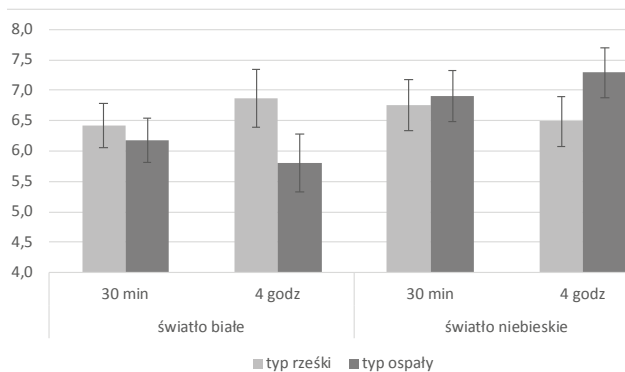
NASTRÓJ (NAPIĘCIE)

Uzyskano istotne statystycznie interakcje pomiędzy niezdolnością opanowania senności i warunkami oświetlenia niezależnie od pory dnia i czasu ekspozycji [$F(1,28)=10.062$; $p=.004$; $\eta^2=.264$]. W monochromatycznym świetle niebieskim w porównaniu do polichromatycznego światła białego typ ospały odczuwał większe napięcie [$t(1,14)=-4.934$; $p<.001$] (Wykres 1).



Wykres 1. Średnie i standardowe błędy pomiaru Napięcia w świetle białym i niebieskim u typów rzeźkiego (N=15) i ospałego (N=15)

Uzyskano również istotne statystycznie interakcje pomiędzy niezdolnością opanowania senności, warunkami oświetlenia oraz czasem ekspozycji [$F(1,28)=6.837$; $p=.014$; $\eta^2=.196$] (Wykres 2).

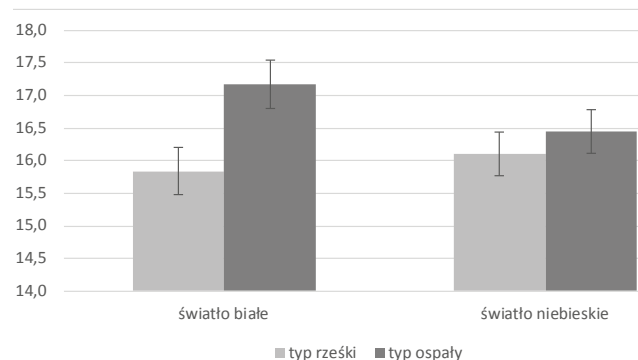


Wykres 2. Średnie i standardowe błędy pomiaru Napięcia u typów rzeźkiego (N=15) i ospałego (N=15) po krótkiej (30 min) i długiej (4 godz.) ekspozycji na monochromatyczne światło niebieskie i polichromatyczne światło białe

U typów ospałych wystąpiło istotnie wyższe napięcie w warunkach światła niebieskiego w porównaniu do światła białego zarówno po krótkiej [$t(1,14)=-3.062$; $p=.008$], jak i po długiej ekspozycji [$t(1,14)=-4.939$; $p<.001$] (Wykres 2).

NASTRÓJ (SPOKÓJ)

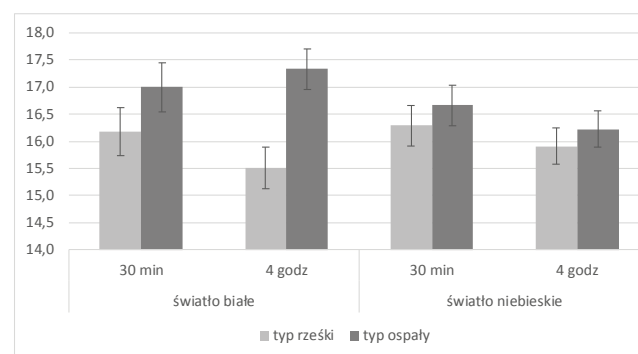
Uzyskano istotne statystycznie interakcje między niezdolnością opanowania senności i warunkami oświetlenia [$F(1,28)=6.151$; $p=.019$; $\eta^2=.180$] (Wykres 3).



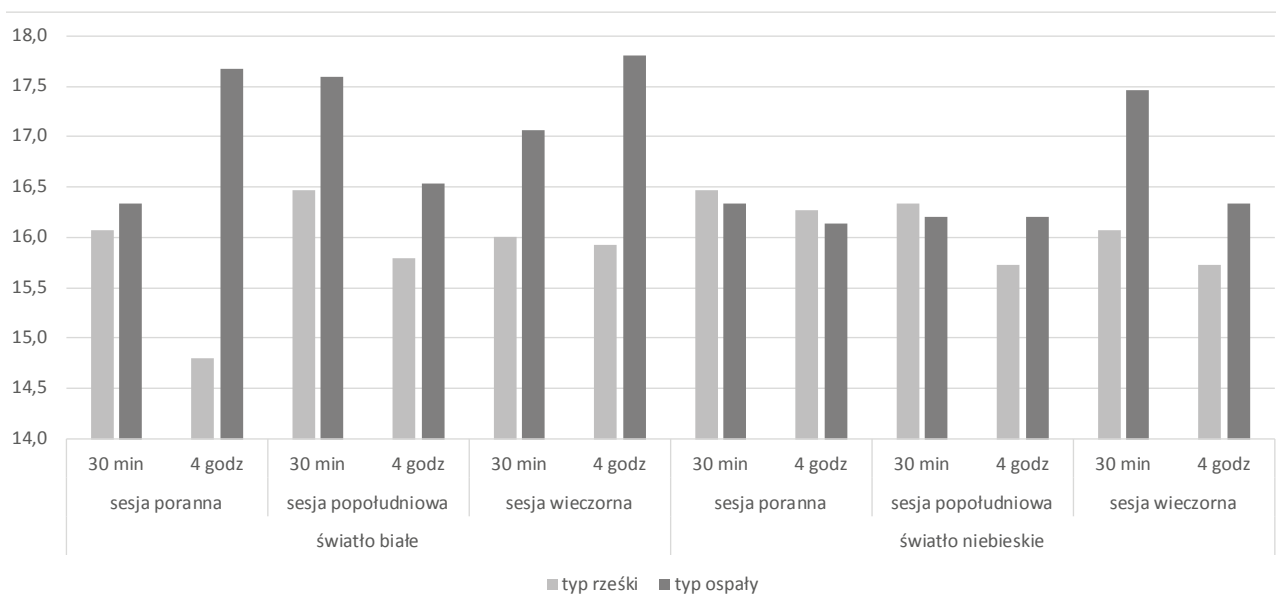
Wykres 3. Średnie i standardowe błędy pomiaru Spokoju w świetle białym i niebieskim u typów rzeźkiego (N=15) i ospałego (N=15)

Istotnie wyższe wyniki spokoju wystąpiły u typu ospałego w porównaniu z rzeźkim w warunkach polichromatycznego światła białego [$t(1,14)=3.293$; $p=.005$] oraz u typu ospałego niższe wyniki spokoju w świetle niebieskim w porównaniu do światła białego [$t(1,14)=2.65$; $p=.019$] (Wykres 3).

Uzyskano istotne statystycznie interakcje pomiędzy niezdolnością opanowania senności, warunkami oświetlenia i czasem ekspozycji [$F(1,28)=4.604$; $p=.041$; $\eta^2=.141$] (Wykres 4).



Wykres 4. Średnie i standardowe błędy pomiaru Spokoju u typów rzeźkiego (N=15) i ospałego (N=15) po krótkiej (30 min) i długiej (4 godz.) ekspozycji na monochromatyczne światło niebieskie i polichromatyczne światło białe



Wykres 5. Spokój u typów rześkiego (N=15) i ospałego (N=15) po krótkiej (30 min) i długiej (4 godz.) ekspozycji na monochromatyczne światło niebieskie i polichromatyczne światło białe w sesjach porannej, popołudniowej i wieczornej

Istotnie wyższe wyniki spokojności osiągały typy ospałe, niż rześkie w świetle białym po dłuższej ekspozycji [$t(1,14)=4.323$; $p=.001$] oraz u typu ospałego wystąpiły istotnie niższe wyniki spokojności po dłuższej ekspozycji w świetle niebieskim w porównaniu do warunków światła białego [$t(1,14)=3.876$; $p=.002$] (Wykres 4).

Ponadto, uzyskano istotne statystycznie interakcje pomiędzy niezdolnością opanowania senności, warunkami oświetlenia, porą ekspozycji i czasem ekspozycji [$F(2,56)=4.012$; $p=.024$; $\eta^2=.125$] (Wykres 5).

Statystyczne różnice pomiędzy wynikami spokojności u typów rześkiego i ospałego zaobserwowano w sesji wieczornej w świetle niebieskim po 30 minutach ekspozycji (wyższy wynik spokojności u typu ospałego, $t(1,14)=2.468$; $p=.027$). Z kolei w świetle białym po 4 godzinnej ekspozycji wyniki spokojności u typu ospałego były wyższe, niż u rześkiego w sesji porannej [$t(1,14)=4.905$; $p<.001$] oraz wieczornej [$t(1,14)=4.000$; $p=.001$]. W sesji porannej po 4 godzinach ekspozycji na światło niebieskie w porównaniu do światła białego u typów ospałych i rześkich wystąpiły przeciwne tendencje. U typów rześkich nastąpił wzrost spokojności [$t(1,14)=-2.269$; $p=.04$], a u typów ospałych – spadek [$t(1,14)=3.360$; $p=.005$]. U typu ospałego wykryto dodatkowo następujące istotne wyniki: w sesji popołudniowej po 30 minutach ekspozycji na światło niebieskie w porównaniu do światła białego następował spadek spokojności [$t(1,14)=2.219$; $p=.044$]; w świetle niebieskim po krótkiej ekspozycji w sesji wieczornej z kolei odnotowano wzrost spokojności w stosunku do sesji porannej [$t(1,14)=-2.09$; $p=.05$] oraz popołudniowej [$t(1,14)=-2.433$;

$p=.029$]; w sesji wieczornej po 4 godzinach ekspozycji na światło niebieskie w porównaniu do światła białego wystąpił spadek spokojności [$t(1,14)=2.621$; $p=.02$].

Zaobserwowano brak istotnych interakcji elastyczności nawyków snu z nastrojem oraz warunkami oświetlenia, porą i czasem ekspozycji.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Celem przeprowadzonego eksperymentu było sprawdzenie, czy wymiary typu okołodobowego wraz z porą i czasem ekspozycji wpływają na nastrój w czasie krótkiej i przedłużonej dziennej ekspozycji na monochromatyczne światło niebieskie. Została potwierdzona hipoteza 1, zgodnie z którą niezdolność opanowania senności okazała się moderatorem wpływu niebieskiego światła na nastrój. Uzyskano istotny moderujący efekt w zakresie dwóch z czterech aspektów nastroju: napięcia i spokojności. W świetle niebieskim w porównaniu z białym typy ospałe charakteryzowały się podwyższonym napięciem zarówno po 30 minutach, jak i 4 godzinach ekspozycji, co może świadczyć o tym, że niebieskie światło stanowiło bardziej stresujący bodziec, niż bardziej znane, światło białe. Jest to zgodne z dotychczas odnotowanymi tendencjami (np. Hoffmann i in., 2008). U typów ospałych w niebieskim świetle zaobserwowano równocześnie spadek spokojności. Wyniki te są zatem spójne i mogą być interpretowane jako pobudzający efekt działania niebieskiego światła.

W czasie krótszej ekspozycji na światło niebieskie typy ospałe demonstrowały istotnie wyższy poziom spo-

koju, niż typy rzeńskie, co wydaje się być zgodne z ich specyfiką funkcjonowania (DiMilia, Smith i Folkard, 2005). Natomiast jednocześnie spokój w czasie krótszej ekspozycji u typów ospałych był istotnie niższy, niż w świetle białym, ponadto istotnie wzrastał w sesji wieczornej. Być może pobudzający efekt MŚN jest mniej widoczny w godzinach wieczornych, ponieważ jest to jedna z pór naturalnego spadku pobudzenia i niebieskie oświetlenie o tak niewielkim natężeniu nie jest w stanie „przezwyciężyć” okołodobowych procesów nawarstwiającego się w ciągu dnia zmęczenia. Efekt pobudzający niebieskiego światła jest zatem w godzinach wieczornych słabszy, niż rano czy popołudniu przy 30 minutowej ekspozycji. Z kolei po 4 godzinach ekspozycji spokój u typu ospałego mała istotnie w porównaniu do światła białego, zwłaszcza w sesji wieczornej. Może to oznaczać, że podczas dłuższej ekspozycji można zaobserwować wyraźniejsze pobudzające właściwości niebieskiego oświetlenia. Te wyniki wydają się korespondować z rezultatami badań nad przesuwaniem fazy rytmów oraz nad terapią światłem, w których efekty uzyskuje się przy przedłużonym naświetlaniu lub używaniu oświetlenia o wyższej intensywności (Terman, 2007). Ponadto również inni badacze uzyskali podobne efekty działania niebieskiego światła w porach naturalnego spadku pobudzenia (np. Baek i Min, 2015).

Niniejszy eksperyment uzupełnienia wiedzę na temat pobudzającego działania światła niebieskiego o różnice indywidualne związane z działaniem zegara biologicznego oraz systematyczne badanie nastroju w niebieskim świetle w ciągu całego dnia. Rezultaty przedstawionego eksperymentu mogą przyczynić się do skuteczniejszego leczenia sezonowych zaburzeń nastroju, ich subklinicznej postaci oraz zaburzeń okołodobowej rytmiki snu i czuwania w kontekście pracy zmianowej lub sytuacji przekraczania stref czasowych. Dzięki zaprezentowanym wynikom można zaprojektować oświetlenie dostosowane do indywidualnych potrzeb (preferencji związanych z charakterystyką rytmów okołodobowych) z uwzględnieniem pory i czasu przebywania w konkretnych warunkach światła, by uzyskać oczekiwany efekt. Subiektywnie odczuwane polepszenie nastroju może wpływać nie tylko na samopoczucie pracowników, ale także na lepsze wykonanie zadań i podniesienie satysfakcji z pracy (Hoffmann i in., 2008). Uwzględniając przedstawione wyniki, wydaje się, że stosowanie odpowiednich parametrów światła może istotnie wpływać na nastrój pracowników i warunkować optymalne wykorzystanie potencjału zatrudnionych osób.

Jednym z ograniczeń przedstawionego badania jest niemożność generalizowania wyników na całą populację z uwagi na brak kobiet w badanej grupie. W przyszłości warto przeprowadzić porównania efektu niebieskiego światła w zależności od płci oraz zastosować również inne, obiektywne metody pomiaru (np. testy wykonania), by móc zweryfikować efektywność pracy w niebieskim świetle.

LITERATURA

- Adan, A., Archer, S., Paz Hidalgo, M., Di Milia, L., Natale, V., Randler, Ch. (2012) Circadian Typology: A Comprehensive Review. *Chronobiology International*, 29, 9, 1153-1175.
- Adan, A., Natale, V. (2002). Gender differences in morningness-eveningness preference. *Chronobiology International*, 19, 709-720.
- Akerstedt T., Folkard S. (1997). The three-process model of alertness and its extension to performance, sleep latency and sleep length. *Chronobiology International*, 14, 115-123.
- Baek, H, Min, BK. (2015). Blue light aids in coping with the post-lunch dip: an EEG study. *Ergonomics*, 58, 5, 803-810.
- Barnard, A.R., Hattar, S., Hankins, M.W., Lucas, R. (2006). Melanopsin regulates visual processing in the mouse retina. *Current Biology*, 16, 4, 389-395.
- Blake, M. (1967). Time of day effects on performance in a range of tasks. *Psychonomic Research*, 9, 6, 349-350.
- Brainard, G., Sliney, D., Hanifin, J., Glickman, G., Byren, B., Greeson, J., Jasser, S., Gerner, E., Rollag, M. (2008). Sensitivity of the human circadian system to short-wavelength (420-nm) light. *Journal of Biological Rhythms*, 23, 5, 379-386.
- Buyse D, Reynolds, III CF, Monk, T.H, Berman, SR, Kupfer, D.J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and Rresearch. *Psychiatry Research*, 28, 193-213.
- Cajochen, C. (2007). Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*, 11, 453-464.
- Cajochen, C., Münch, M., Koblalka, S., Kräuchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., ... Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 90, 3, 1311-1316.
- Caminada, H., de Bruijn, F. (1992). Diurnal variation, morningness-eveningness, and momentary affect. *European Journal of Personality*, 6, 43-69.
- Chang, A.M., Scheer, F., Czeisler, C.A., Aeschbach, D. (2013). Direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans depend on prior light history. *Sleep*, 36, 8, 1239-1246.
- Chellappa, S.L., Viola, A.U., Schmidt, Ch., Bachmann, V., Gabel, V., Maire, M., Reichert, C.F., Valomon, A., Landolt, H.P., Cajochen, Ch. (2014). Light modulation of human sleep depends on a polymorphism in the clock gene Period3. *Behav. Brain Research*, 271, 23-29.
- Di Milia, L., Smith, P., Folkard, S. (2005). A validation of the revised circadian type inventory in a working sample. *Personality and Individual Differences*, 39, 1293-1305.
- Figueiro, M.G., Bierman, A., Plitnick, B., Rea, M.S. (2009). Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night. *BMC Neuroscience*, 10, 105.
- Folkard, S., Monk, T.H., Lobban, M.C. (1979). Towards a predictive test of adjustment to shift work. *Ergonomics*, 22, 79-91.
- Hampp, G., Ripperger, J., Houben, T., Schmutz, I., Blex, C., Perreau-Lenz, S., Brunk, I., Spanagel, R., Ahnert-Hilger, G, Meijer, J., Albrecht, U. (2008). Regulation of monoamine oxidase a by circadian-clock components implies clock influence on mood. *Current Biology*, 18, 678-683.

- Hoffmann, G., Gufler, V., Griesmacher, A., Bartenbach, C., Canazei, M., Staggl, S., Schobersberger, W. (2008). Effects of variable lighting intensities and colour temperatures on sulphatoxymelatonin and subjective mood in an experimental office workplace. *Applied Ergonomics*, *39*, 719-728.
- Horne, J.A., Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, *4*, 97-100.
- Iskra-Golec, I., Golonka K., Wyczesany, M., Smith, L., Siemiginowska, P., Wątroba J. (2017). Daytime effect of monochromatic blue light on EEG activity depends on duration and timing of exposure in young men. *Advances in Cognitive Psychology*, *13*, 3, 241-247.
- Jankowski, K., Ciarkowska, W. (2008). Diurnal variation in energetic arousal, tense arousal, and hedonic tone in extreme morning and evening types. *Chronobiology International*, *25*, 4, 577-595.
- Lewy, A., Lefler, B., Emens, J., Bauer, V. (2006). The circadian basis of winter depression. *PNAS*, *103*, 19, 7414-7419.
- Lockley, S.W., Evans, E.E., Scheer, F., Brainard, G.C., Czeisler, Ch.A., Aeschbach, D. (2006) Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance and waking electroencephalogram in humans. *Sleep*, *29*, 2, 161-168.
- Okamoto, Y., Rea, M. Figueiro, M. (2014). Temporal dynamics of EEG activity during short- and long-wavelength light exposures in the early morning. *BMC Research Notes*, *7*, 113, 1-6.
- Phipps-Nelson, J., Redman, J.R., Schlangen, L.J., Rajaratnam, S.M. (2009). Blue light exposure reduces objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing. *Chronobiology International*, *26*, 5, 891-912.
- Pinho, M., Sehmbi, M., Cudney, L., Kauer-Sant'anna, M., Magalhaes, P., Reinares, M., Bonnin, C., Sassi, R., Kapczinski, F., Colom, F., Vieta, E., Frey, B., Rosa, A. (2016). The association between biological rhythms, depression, and functioning in bipolar disorder: a large multi-center study. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, *133*, 102-108.
- Rahman, Sh.A., Flynn-Evans, E.E., Aeschbach, D., Brainard, G.C., Czeisler, Ch.A., Lockley, S.W. (2014). Diurnal spectral sensitivity of the acute alerting effects of light. *Sleep*, *37*, 2, 271-281.
- Revell, V.L., Arendt, J., Terman, M., Skene, D.J. (2005). Short-wavelength sensitivity of the human circadian system to phase-advancing light. *Journal of Biological Rhythms*, *20*, 270-2.
- Sahin, L., Figueiro, M.G. (2013). Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon. *Physiology and Behavior*, *1-7*, 116-117.
- Terman, M. (2007). Evolving applications of light therapy. *Sleep Medicine Reviews*, *11*, 497-507.
- Thayer, R. (1978). Factor analytic and reliability studies on the Activation-Deactivation Adjective Check List. *Psychological Reports*, *42*, 747-756.
- Vandewalle, G., Archer, S., Wuillaume, C., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., Dijk, D., Maquet, P. (2011). Effect of light on cognitive brain responses depend on circadian phase and sleep homeostasis. *Journal of Biological Rhythms*, *26*, 3, 249-259.
- Vandewalle, G., Dijk, D. (2013). Neuroimaging the effects of light on non-visual brain functions. W: E. Nofzinger, P. Maquet, M.J. Thorpy (red.), *Neuroimaging of sleep and sleep disorders* (s. 171-178). Cambridge: Published by Cambridge University Press. © Cambridge University Press.
- Vandewalle, G., Schwartz, S., Grandjean, D., Wuillaume, C., Balteau, E., Degueldre, C., Schabus, M., Phillips, C., Luxen, A., Dijk, D., Maquet, P. (2010). Spectral quality of light modulates emotional brain responses in humans. *Pnas*, *107*, 45, 19549-19554.
- Van Dongen, H., Dinges, D. (2000). Circadian rhythms in fatigue, alertness and performance. W: M. Kryger, T. Roth, W. Dement (red.), *Principles and practice of sleep medicine* (3 wyd., s. 391-399). Philadelphia, Pennsylvania: W. B. Saunders.