

KRYSTYNA SKWARŁO-SOŃTA

Zakład Fizjologii Zwierząt, Wydział Biologii Uniwersytetu Warszawskiego, ul. Miecznikowa 1,
02-096 Warszawa, e-mail: kss25@biol.uw.edu.pl

PRACA ZMIANOWA – CZY TO TAKŻE JEST SKAŻENIE ŚWIATŁEM?

Problem „skażenia światłem” (zanieczyszczenia świetlnego, ALAN) pojawił się jako konsekwencja wprowadzenia oświetlenia elektrycznego, modyfikującego wszystkie obszary życia. Tymczasem nasz organizm jest dostosowany do regularnie następujących po sobie okresów dnia i nocy, dzięki obecności endogennego mechanizmu tak porządkującego przebieg procesów życiowych, aby przypadały na optymalne pory doby. Jest nim molekularny zegar biologiczny, zlokalizowany w SCN czyli podwzgórzowych jądrach nadskrzyżowaniowych, synchronizowany z warunkami zewnętrznymi za pośrednictwem światła. Informacja świetlna, odbierana przez specjalne receptory siatkówkowe, jest kierowana via SCN do szyszynki, gdzie powstaje „hormon ciemności”, melatonina, która reguluje wiele procesów fizjologicznych, dopasowując ich przebieg do aktualnej sytuacji środowiskowej. Obecność ALAN, emitowanego przez wiele urządzeń elektronicznych lub podczas nocnej pracy zmianowej, zaburza rytm syntezy melatoniny a w konsekwencji funkcjonowanie zegara biologicznego i regulację wielu procesów fizjologicznych. Skutkuje to rozwojem chorób tzw. cywilizacyjnych, do których należą nowotwory, choroby metaboliczne, zaburzenia snu i depresja.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie świetlne, zegar biologiczny, rytm dobowy, szyszynka, melatonina, praca zmianowa

I. WSTĘP

Chyba żadna ze zdobyczy cywilizacyjnych nie wywarła większego wpływu na życie człowieka niż ujarzmienie ognia. Znalazło to wyraz już w starożytnej mitologii greckiej, mówiącej o ogniu jako szczególnie cennym darze, wykradzionym bogom przez dobrego tytana Prometeusza, a nieodłącznie towarzyszące mu światło od zawsze kojarzy się z poczuciem bezpieczeństwa i wszelkimi pozytywnymi doznaniem. Natomiast brak światła odbieramy negatywnie: zimno i niebezpiecznie. Dlatego ludzie zawsze dążyli do rozświetlania ciemności nocy, ciągle udoskonalając źródła światła. Dzięki nim stawali się coraz bardziej niezależni od zewnętrznych warunków świetlnych, czyli aktualnej pory doby: dnia czy nocy. Jednak prawdziwa rewolucja dokonała się pod koniec XIX wieku, kiedy żarówka elektryczna zapłonęła na ulicach Nowego Jorku, co umożliwiło ludziom wyjście z różnego rodzaju aktywnością poza zwykłe pory naturalnego dnia. W tych czasach nikomu nie przychodziło jeszcze do głowy, że takie wydłużenie dnia może, oprócz oczywistych korzyści, pozostawać w konflikcie z naturalnie zaprogramowanym

funkcjonowaniem naszych organizmów. Z czasem pojawił się jednak problem wywołany nadmiernym oświetlaniem budynków użyteczności publicznej, ulic, dróg, powodującym coraz większą jasność nocnego nieba, która najpierw zaczęła utrudniać prowadzenie obserwacji astronomicznych. Z czasem nadmierne lub niewłaściwe używanie sztucznego oświetlenia zostało nazwane zanieczyszczeniem świetlnym lub skażeniem światłem (ALAN, od angielskiego określenia Artificial Light At Night) i zaczyna coraz poważniej wkraczać w nasze życie, zwłaszcza mieszkańców dużych miast, praktycznie odciętych od naturalnych warunków światła i ciemności [Gaston i in. 2015].

Celem poniższego opracowania jest przedstawienie mechanizmów fizjologicznych i molekularnych, utrzymujących prawidłowe funkcjonowanie rytmów biologicznych człowieka oraz czynników odpowiedzialnych za ich zakłócenie, wśród których główną rolę pełni światło działające w nienaturalnych porach doby. Szczególny nacisk zostanie położony na rolę szyszynki i jej hormonu melatoniny oraz na wpływ nocnej pracy zmianowej na zaburzenia synchronizacji czynności życiowych prowadzących do rozwoju wielu chorób cywilizacyjnych.

II. DO CZEGO POTRZEBUJEMY CIEMNOŚCI?

Życie w warunkach ziemskich ukształtowało się w taki sposób, że okresy aktywności i spoczynku następują regularnie w rytm warunków wyznaczonych przez ruch obrotowy Ziemi wokół własnej osi, zamykający się zawsze w ciągu 24-godzinnej doby. Ponadto, jeśli znajdujemy się w strefie klimatu umiarkowanego, to długość dnia i nocy ulega regularnym zmianom w ciągu roku. Następujące po sobie pory roku, określone przez sezonowe zmiany długości dnia i nocy, wprowadzają dodatkowy porządek w przebieg wielu procesów fizjologicznych i behawioru wszystkich mieszkańców tej strefy klimatycznej. Dla organizmów pozostających w warunkach naturalnych, długość dnia i nocy a także kierunek ich zmian związany z porami roku, są najcenniejszą informacją środowiskową, na podstawie której mogą rozpoznać wiele innych cech otaczającego świata. Z tej informacji korzystają zwłaszcza dzikożyjące zwierzęta, których rozród ma charakter sezonowy tak dopasowany do sytuacji środowiskowej, aby potomstwo pojawiała się w warunkach optymalnych dla jego odchowania, zapewniających właściwą temperaturę, wilgotność, dostępność pokarmu i kryjówek itd. Aby jednak to nastąpiło, organizmy rodzicielskie muszą antycypować taką sytuację i łączyć się w pary z odpowiednim wyprzedzeniem, właściwym dla rozwoju embrionalnego poszczególnych gatunków. Oznacza to, że człowiek i pozostałe organizmy ziemskie potrafią odbierać i interpretować informację środowiskową aby przygotować się do podjęcia właściwych funkcji [Navara i Nelson 2007]. Przewidywanie to jest możliwe dzięki posiadaniu odpowiedniego „licznika” czyli endogennego mechanizmu odmierzającego czas, zwanego zegarem biologicznym [Krzeptowski 2012].

III. ZASADA DZIAŁANIA ZEGARA BIOLOGICZNEGO

Działanie zegara biologicznego polega na tym, że jego struktury spontanicznie generują cyklicznie przebiegające procesy molekularne, stanowiące dyspozycje dla komórek i narządów organizmu, dzięki którym cykl procesów kontrolowanych przez zegar powtarza się z regularnością około 24-godziną. Tak przebiegające procesy nazywamy rytmami okołodobowymi (z łaciny: cirkadialnymi), a ich występowanie znajdujemy na wszystkich poziomach organizacji świata zwierzęcego, także w fizjologii i zachowaniu człowieka. Głównym mechanizmem jest tzw. zegar centralny (ang. master clock), u ssaków (a więc również u człowieka) zlokalizowany w ośrodkowym układzie nerwowym w jądrach nadskrzyżowaniowych przedniego podwzgórza (używany powszechnie skrót SCN pochodzi od

angielskiej nazwy Suprachiasmatic Nuclei) [Bell-Pedersen i in. 2005]. Generowane w nim dobowe zmiany aktywności elektrycznej neuronów przenoszą się na rytmiczną syntezę i uwalnianie neuroprzekazników, stanowiących tzw. drogi wyjścia z zegara czyli sygnały przekazywane do narządów obwodowych. Obecnie wiadomo, że system zegarowy człowieka jest bardziej skomplikowany, bowiem oprócz centralnego, w różnych miejscach organizmu występują jeszcze zegary obwodowe (peryferyczne). Zlokalizowano je w wielu narządach, a najlepiej poznano te, które znajdują się w układzie pokarmowym, tkance tłuszczowej, nadnerczach [Hastings i in. 2003]. Rola zegarów obwodowych z jednej strony polega na nadzorze nad rytmicznym przebiegiem procesów zachodzących w danym narządzie, z drugiej zaś – przekazują zwrotną informację do zegara centralnego, sprawującego kontrolę nad zegarami obwodowymi. Stopień ich zależności od zegara centralnego jest zróżnicowany gatunkowo i tkankowo i ciągle jest przedmiotem badań porównawczych.

Intensywne badania molekularne pozwoliły rozszyfrować zasadę działania zegara biologicznego, który okazał się być uniwersalnym mechanizmem zapisanym w informacji genetycznej, konserwowanej ewolucyjnie w całym świecie ożywionym [Krzeptowski 2012]. Ten skomplikowany układ można w uproszczeniu przedstawić jako regulacyjne pętle transkrypcyjno-translacyjne, włączające i wyłączające ekspresję tzw. genów zegarowych (ang. clock genes), specjalnej rodziny genów różniących się w całym świecie zwierząt jedynie szczegółami molekularnymi. Ich rytmiczna ekspresja zamyka się w 24-godzinny cykl dobowy, a jej produkty białkowe pełnią rolę czynników transkrypcyjnych o działaniu pozytywnym i negatywnym (czyli włączają i wyłączają transkrypcję poszczególnych genów). Kontrolują w ten sposób przebieg większości procesów fizjologicznych, często za pośrednictwem kolejnej grupy genów, tzw. genów kontrolowanych przez zegar (ang. clock controlled genes, ccg), łączących pracę zegara z procesami metabolicznymi i ich regulacją [Balsalobre 2002].

W efekcie tak uporządkowanej organizacji czasowej funkcji życiowych, w ciągu doby łatwo można zauważyć różnice w nasileniu poszczególnych procesów, czego najpopularniejszym wyrazem jest zmienna temperatura ciała, z wartościami najwyższymi w godzinach popołudniowych a najniższymi wczesnie rano. W życiu codziennym, a zwłaszcza w praktyce medycznej, w tych porach doby jest mierzona temperatura ciała pacjenta, bowiem odchylenie od takiej regularności jest wyraźnym wskazaniem na zaburzenie homeostazy organizmu i rozwój procesu chorobowego. Przykładów rytmiki dobowej znamy intuicyjnie bardzo wiele, np. nocny wzrost poziomu hormonu wzrostu („rośniemy we śnie”) czy intensywności podziałów mitotycznych, skutkującej lepszą niż w dzień regeneracją błon śluzowych czy gojeniem się ran [Fu i Lee 2003]. Glukokortykoidy nadnerczowe (u ludzi głównie kortyzol), mające m.in. działanie przeciwzapalne i przeciwbólowe wytwarzane są także w rytmie dobowym, osiągającym wartości maksymalne na przełomie okresu snu i dziennej aktywności, co w życiu codziennym oznacza łatwiejsze pokonywanie wysiłku fizycznego i czynności wymagających nakładów energetycznych. Wszyscy odczuwamy też większy napęd życiowy w godzinach porannych oraz skłonność do popołudniowej drzemki, zwłaszcza po spożyciu posiłku [Froy 2007]. Są to jedynie wybrane przejawy czasowej organizacji funkcji życiowych, będących efektem synchronizującego działania wewnętrznego zegara biologicznego w organizmie człowieka.

IV. KONTAKT ZEGARA ZE ŚRODOWISKIEM ZEWNĘTRZNYM – ROLA SZYSZYNKI I MELATONINY

Mimo, iż zegar biologiczny jest mechanizmem endogennym, to swoją funkcję synchronizującą pełni dzięki temu, że odbiera informacje o warunkach zewnętrznych,

dopasowując do nich regulowane procesy fizjologiczne. Te źródła informacji środowiskowej nazywają się dawcami czasu, spośród których najważniejszym jest światło, a raczej informacja o świetle i ciemności, docierająca do zegara centralnego szlakiem siatkówkowo-podwzgórzowym (ang. retino-hypothalamic tract, RHT). Początek tej drogi znajduje się w siatkówce oka, w niewielkiej grupie specjalnych receptorów zawierających światłoczuły barwnik melanopsynę, niezwiązany z percepcją obrazu i widzeniem [Berson i in. 2002]. Szlak RHT przenosi tę informację do zegara centralnego w SCN, skąd jest kierowana na wieloneuronalną drogę, prowadzącą do szyszynki (łac. *Glandula pinealis*), gruczołu neuroednokrynowego znajdującego się w dnie III komory mózgu. Ostatni odcinek tego szlaku stanowią opuszczające zwój szyjny górny zazwojowe włókna współczulne. Wydzielany przez nie neurotransmitter noradrenalina odnajduje swoje receptory w błonach komórkowych budujących szyszynkę pinealocytów, którym przekazuje informację o aktualnym stanie warunków świetlnych otoczenia, a konkretnie o nastaniu ciemności [Skwarło-Sońta 2014]. Pinealocyty ssaków są wyposażone w sprzężone z białkami G błonowe receptory β - i α_1 -adrenergiczne, wiążące noradrenalinę uwalnianą na zakończeniach włókien zazwojowych podczas ciemnej fazy doby. Aktywacja tych receptorów uruchamia wewnątrzkomórkową kaskadę procesów, prowadzących do syntezy melatoniny, głównego hormonu szyszynkowego. Powstająca melatonina nie jest magazynowana w szyszynce, ale uwalniana natychmiast do krwi i płynu mózgowo-rdzeniowego krąży w organizmie jako „biochemiczny substrat ciemności”, zwany także „hormonem ciemności”. Takie określenie melatoniny pochodzi stąd, że jest wytwarzana w szyszynce kręgowców (wszystkich, bez względu na dzienny lub nocny wzorzec aktywności ruchowej) podczas trwania okresu ciemności (nocy w warunkach naturalnych). Oznacza to, że długość nocy jest czynnikiem limitującym okres syntezy melatoniny szyszynkowej a jej obecność w krwiobiegu przenosi informację o panującej ciemności do wszystkich komórek organizmu, wyposażonych w receptory melatoninowe. Drugą, istotną cechą funkcji szyszynki, jest fakt znikomej aktywności biosyntetycznej w ciągu dnia, skutkiem czego zawartość melatoniny w krwi obwodowej wykazuje bardzo wyraźny rytm dobowy z niskimi wartościami w dzień i wysokim poziomem w nocy; a dodatkowo – światło hamuje syntezę melatoniny. Ważną konsekwencją takiej rytmicznej funkcji szyszynki jest rola powstającej w niej melatoniny jako „zegara i kalendarza”, którą spełnia informując wszystkie komórki i narządy o obecności i czasie trwania ciemności, od której zależy podwyższony poziom krążącej melatoniny [Reiter 1993].

V. NOCNA PRACA ZMIANOWA CZYNNIKIEM DESYNCHRONIZUJĄCYM ZEGAR BIOLOGICZNY

Dostępność sztucznego oświetlenia i rozwój techniki sprawiły, że aktywność ludzi zaczęła znacznie przekraczać limity, wyznaczone przez naturalną długość dnia i nocy. Dzięki temu możliwe są dalekie podróże, łącznie z lotami transkontynentalnymi i przekraczaniem stref czasowych, zaawansowana opieka zdrowotna, ciągła produkcja w wielu gałęziach przemysłu, oświetlanie ulic i obiektów użyteczności publicznej dające poczucie bezpieczeństwa, a także rozrywka i relaks, do których dodatkowo używamy urządzeń wyposażonych w światła LED (Light Emiting Diodes) [Gaston i in. 2015]. Wszystko to sprawia, że nasz zegar endogeny wystawiony jest na „dawców czasu” zupełnie innych, niż naturalne światło słoneczne, pojawiających się także w nienaturalnych porach doby [Stevens i Zhu 2015]. Mieszkańcy dużych miast w krajach uprzemysłowionych w zasadzie utracili kontakt z oświetleniem naturalnym, bowiem w ciągu dnia przebywają najczęściej w pomieszczeniach o natężeniu sztucznego światła nie przekraczającym 500 lux (podczas gdy światło słoneczne może mieć nawet natężenie rzędu 100 000 lux), natomiast rzadko mają do czynienia z naprawdą ciemną

nocą. Jeśli jeszcze dodamy do tego bardzo popularne korzystanie w sypialniach z urządzeń wyposażonych w LED: odbiorniki TV, laptopy, smartfony, to staje się oczywiste, że w tych warunkach endogenny zegar człowieka nie jest w stanie pełnić swojej funkcji synchronizującej [Bonmati-Carrion i in. 2014]. Co więcej, zaburzone relacje pomiędzy okresem światła i ciemności czyli dniem i nocą stanowią dodatkowy czynnik desynchronizujący w postaci nieregularnie pobieranych posiłków, które z kolei wpływają na działanie zegarów peryferycznych, prowadząc do jeszcze większego rozregulowania procesów fizjologicznych i behawioru [Laemans i Depoortere 2016]. Rozwój techniki i wprowadzanie coraz bardziej zaawansowanych źródeł światła sprawiły, że mieszkańcy krajów wysoce rozwiniętych ekonomicznie żyją obecnie w trybie 24/7, co oznacza, że przestały istnieć czynniki ograniczające aktywność jedynie do określonych fragmentów doby, pierwotnie wyznaczanych przez długość dnia, nie ma też wyraźnie zróżnicowanych dni tygodnia, przeznaczonych na pracę i odpoczynek.

Jak już wspomniano, obecność światła w nocy czyli ALAN wywiera hamujący wpływ na syntezę melatoniny, która oprócz roli chronobiotyki pełni w organizmie jeszcze wiele funkcji, w tym ma bardzo istotne działanie anty-oksydacyjne, przeciwzapalne i anty-nowotworowe [Skwarło-Sońta 2015]. Nocna praca zmianowa należy zatem do tych sytuacji życiowych, które prowadzą do desynchronizacji zegara endogennego i rozregulowania procesów fizjologicznych, a w konsekwencji do rozwoju wielu chorób, uznanych za tzw. cywilizacyjne czyli związane z nieregularnym trybem życia. Należą do nich cukrzyca typu 2, zespół metaboliczny, otyłość a także bezsenność, nowotwory czy depresja. Przeświadczenie, że to właśnie desynchronizacja czynności życiowych leży u podstaw „epidemii” tych chorób, występujących najczęściej u osób wykonujących pewne zawody lub przebywających w warunkach utrudniających prawidłowe funkcjonowanie zegara molekularnego zdobywa coraz silniejsze poparcie w badaniach naukowych. Mija właśnie 10 lat od pierwszej konferencji uczonych różnych specjalności, której celem było stworzenie podstaw naukowego podejścia do problemu zaburzeń funkcji życiowych związanych ze skażeniem światłem [Stevens i in. 2007]. Badania te, prowadzone zarówno na modelach zwierzęcych jak i u osób narażonych na ALAN, choć niełatwe i rodzące liczne problemy metodyczne, są coraz liczniejsze.

Pojawianie się niektórych typów nowotworów z większą częstotliwością u osób wykonujących pewne zawody (pielęgniarki czy personel latający na dużych dystansach) [Haim i Zubidat 2014] skłoniło Amerykańską Agencję ds. Badań nad Rakiem (IARC) do uznania nocnej pracy zmianowej za jeden z czynników ryzyka rozwoju raka piersi [IARC 2017]. Melatonina uczestniczy w okołodobowej regulacji wielu procesów, wśród których mechanizmy zaangażowane w przeciwdziałanie rozwojowi raka piersi należą do najlepiej poznanych. Dowiedziono m.in. hamowanie przez melatoninę rozwoju hormono-zależnego raka piersi przez wyłączenie ekspresji genów kodujących receptory estrogenowe, a także blokowanie metabolizmu nowotworu, jego proliferacji, tworzenia przerzutów i oporności na leki. Dlatego warunki ALAN, powodujące zaburzenie nocnej syntezy melatoniny ułatwiają rozwój tego typu nowotworów czyniąc je zarazem opornymi na chemio- i endokryno-terapię. Te dane stanowią poparcie obserwacji epidemiologicznych, wskazujących na podwyższone ryzyko raka piersi u kobiet narażonych na ALAN, wśród których znajdują się przede wszystkim osoby pracujące w nocnym systemie zmianowym [Hill i in. 2015].

Zakłócenie pracy zegara endogennego i jego desynchronizacja wewnętrzna staje się globalnym problemem regulacyjnym, a jednym z głównych tego powodów jest nocna praca zmianowa, bowiem w tym trybie w skali światowej pracuje już ok. 20% wszystkich zatrudnionych. Wśród problemów zdrowotnych dotyczących pracowników zmianowych wymienia się również podwyższone ryzyko cukrzycy typu 2, zaburzenia gospodarki lipidowej,

choroby układu sercowo-naczyniowego zaś prawdopodobieństwo wystąpienia nadwagi i otyłości wzrasta proporcjonalnie do długości okresu wykonywania takiej pracy [Laemans i Depoortere, 2016]. Jednym z tego przykładów jest 14-letnia rejestracja wartości BMI (Body Mass Index, czyli wskaźnik stosunku masy ciała do powierzchni) u Japończyków pracujących w systemie zmianowym, wykazująca istotnie wyższy ciężar ciała pracowników nocnych już w 11. roku obserwacji [Suwazono i in. 2008].

Celem niedawno stworzonego holenderskiego konsorcjum badawczego jest poszukiwanie zależności między nocną pracą zmianową i masą ciała a wrażliwością na infekcje [Loef i in. 2016]. Powszechnie znana jest gorsza jakość snu i problemy socjalne pracowników zmianowych, coraz częściej mówi się też o stresowych warunkach pracy i życia oraz większej podatności na infekcje jako pochodnej tej sytuacji. Dlatego podjęto próby stworzenia modelu badawczego do opracowania nowych biomarkerów rytmu dobowego, mogących zastąpić dotychczas oznaczaną w tym celu zawartość w krwi melatoniny i kortyzolu (hormon nadnerczy, znany wskaźnik stresu). Słabą ich stroną jest konieczność wykonywania wielokrotnych pomiarów w ciągu doby, a ponadto wskazują one raczej chwilowy stan rytmu dobowego niż chroniczne zaburzeniu homeostazy.

Ponieważ ludzie w sposób raczej nieodwracalny zmniejszyli naturalną dzieńno-nocną różnicę w oświetleniu, pracując w nocy a przez większość dnia pozostając w warunkach niskiej intensywności światła, to należy „operować światłem” w sposób jak najmniej szkodliwy dla naszego systemu okołodobowego. Idealem byłoby utrzymanie w dzień światła odpowiedniej jasności, zawierającego fale o długości 460-480 nm, stymulujące koncentrację i aktywność umysłową [Zużewicz i Zużewicz 2016]. Natomiast nocy powinny być w miarę ciemne, a w przypadku koniecznego stosowania światła w nocy, należy z niego wyeliminować wspomnianą długość fali (niebiesko-zielone), która najbardziej zakłóca syntezę melatoniny szyszynkowej. Światło tej barwy jest również najmniej korzystne dla obserwacji astronomicznych i ekspozycji obiektów, dlatego jego usunięcie z nocnego oświetlania zewnętrznego wydaje się korzystne także ze względów kulturowych [Bonmati-Carrion i in. 2014]. Zatem – skoro współczesny styl życia wprowadza nieuniknione światło w nocy, to należy rozwijać nowe technologie oświetleniowe z użyciem mniej szkodliwych długości fali i właściwych intensywności oraz środki ochronne (np. pomarańczowej gogle lub ekrany monitorów komputerowych), co rodzi nadzieję na zachowanie właściwych warunków pracy zegara biologicznego.

VI. PODSUMOWANIE

Pojęcie „skażenie światłem” lub „zanieczyszczenie świetlne” odnosi się do sytuacji, w której światło stosowane w nadmiarze lub w niewłaściwej porze doby wywołuje niekorzystne skutki w wielu obszarach naszego życia. Źródłem takiego skażenia mogą być światła uliczne, urządzenia elektroniczne emitujące światło LED czy pozostawanie w ciągu nocy w warunkach wymuszających czujność i koncentrację czyli wykonywanie nocnej pracy zmianowej. Ponieważ nad prawidłową organizacją procesów fizjologicznych człowieka czuwa endogenne zegary molekularne synchronizowane z warunkami zewnętrznymi za pośrednictwem melatoniny produkowanej przez szyszynkę jedynie w ciemności, ALAN należy do tych czynników, które wywierają najbardziej niekorzystny wpływ na funkcjonowanie organizmu człowieka, objawiający się rozwojem chorób tzw. cywilizacyjnych. Nie jest więc zaskoczeniem, że najbardziej na te dolegliwości są narażeni nocni pracownicy zmianowi oraz personel długodystansowych linii lotniczych, u których synteza melatoniny jest zakłócona przez nieregularne występowanie okresów światła i ciemności. Ponieważ nocna praca zmianowa przybiera coraz większy zakres w skali

światowej, to problem zmniejszania negatywnych skutków ALAN należy do ważniejszych wyzwań stojących przed nauką.

BIBLIOGRAFIA

1. Balsalobre A. 2002. Clock genes in mammalian peripheral tissue. *Cell Tissue Res.* 309. 193-199.
2. Bell-Pedersen D., Cassone V.M., Earnest D.J., Golden S.S., Hardin P.E., Thomas T.I., Zoran M.J. 2005. Circadian rhythms from multiple oscillators: lesson from diverse organisms. *Nat. Rev. Genet.* 6. 544-556.
3. Berson D.M., Dunn F.A., Takao M. 2002. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science.* 295. 1070-1073.
4. Bonmati-Carrion M.A., Arguelles-Prieto R., Martinez-Madrid M.J., Reiter R., Hardeland R., Rol M.A., Madrid J.A. 2014. Protecting the melatonin rhythm through circadian healthy light exposure. *Int. J. Mol. Sci.* 15. 23448-23500.
5. Froy O. 2007. The relationships between nutrition and circadian rhythms in mammals. *Frontiers Neuroendocrinol.* 28. 61-71.
6. Fu L., Lee C.C. 2003. The circadian clock: pacemaker and tumor suppressor. *Nat. Rev. Cancer.* 3. 350-361.
7. Gaston K.J., Gaston S., Bennie J., Hopkins J. 2015. Benefits and costs of artificial nighttime lighting of the environment. *Environ. Rev.* 23. 14-23. [dx.doi.org/10.1139/er-2014-0041](https://doi.org/10.1139/er-2014-0041).
8. Haim A, Zubidat A.E. 2014. Artificial light at night: melatonin as a mediator between the environment and epigenome. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 370. 20140121. [http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2014.0121](https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0121)
9. Hastings M.H., Reddy A.B., Maywood E.S. 2003. A clockwork web: circadian timing in brain and periphery, in health and disease. *Nat. Rev. Neurosci.* 4. 649-661.
10. Hill S.M., Belancio V.P., Dauchy R.T., Xang S., Brimer S., Mao L., Hauch A., Lundbreg P.W., Summers W., Yuan L., Frasch T., Blask D.E. 2015. Melatonin: an inhibitor of breast cancer. *Endocrine-Related Cancer.* 22. R183-R204.
11. IARC. Amerykańska Agencja ds Badań nad Rakiem [dok. elektr. www.cancer.org, data wejścia 4.10.2017]
12. Krzeptowski W.D. 2012. Molekularne mechanizmy zegara okoodobowego, czyli jak organizmy mierzą czas. *Kosmos.* 61. 305-318.
13. Laemans J., Depoortere I. 2016. Chronobesity: role of the circadian system in the obesity epidemic. *Obesity Rev.* 17. 108-125.
14. Loefer B., van Baarle D., van der Beek A.J., van Kerkhof L.W., van de Langenberg D., Proper K.L. 2016. Klokwerk+study protocol: An observational study to the effects of night-shift work on body weight and infection susceptibility and the mechanism underlying these health effects. *BMC Public Health.* 16. 692. DOI 10.1186/s12889-016-3317-1.
15. Navara K.J., Nelson R.J. 2007. The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. *J. Pineal Res.* 43. 215-224.
16. Reiter R.J. 1993. The melatonin rhythm: both a clock and a calendar. *Experientia.* 49. 654-664.
17. Skwarło-Sońta K. 2014. Melatonina: hormon snu czy hormon ciemności? *Kosmos.* 63 (2). 223-231.

18. Skwarło-Sońta K. 2015. Skazenie światłem: co dziś wiemy o jego wpływie na funkcjonowanie organizmu człowieka. Kosmos. 64 (4). 633-642.
19. Stevens R.G., Blask D.E., Brainard G.C., Hansen J., Lockley S.W., Provencio I., Rea M.S., Reinlib I. 2007. Meeting report: The role of environmental lighting and circadian disruption in cancer and other diseases. Environ. Health Perspect. 115. 1357-1362.
20. Stevens R.G., Zhu Y. 2015. Electric light, particularly at night, disrupts human circadian rhythmicity: is that a problem? Phil. Trans. R. Soc. B. 370. doi.org/10.1098/rstb.2014.0120.
21. Suwazono Y., Dochi M., Sakata K., Okubo Y., Oishi M., Tanaka K., Kobayashi K., Kido T., Nogawa K. 2008. A longitudinal study on the effect of shift work on weight gain in male Japanese workers. Obesity. 16. 1887-1893.
22. Zużewicz M., Zużewicz K. 2016. Chronobiologiczne aspekty ryzyka zdrowotnego u pracowników zmianowych nocnych. Bezpieczeństwo Pracy. 12-17. DOI: 10.5604/01377043.1199410.

NIGHT SHIFT WORK – DOES IT MEAN LIGHT POLLUTION AS WELL?

Summary

Light pollution denotes an excessive presence of the artificial lighting, particularly at night (ALAN). Since the electricity introduction people started to be active all-round the 24-hs period. However, human physiology is adapted to the regular sequence day/night with the activity during the day and the nocturnal relax and sleep. Diurnal organization of the physiological processes is controlled and synchronized by the endogenous molecular mechanism known as a biological clock with a master structure located within the hypothalamic suprachiasmatic nuclei (SCN). Information about the external lighting conditions is relayed from the special retinal receptors via SCN to the pineal gland synthesizing melatonin, a hormone of darkness. ALAN from various sources, including night shift work and/or electronic devices, evokes misalignment of the endogenous clock and physiology desynchronization. These circumstances are resulting in several civilization-related illnesses, including some cancer types, depression, and metabolic and sleep disorders.

Keywords: light pollution, diurnal rhythm, biological clock, pineal gland, melatonin, night shift work