

Zbigniew TURLEJ
Edmund LISAK

CZYNNIK HORMONALNY W OŚWIETLENIU WNĘTRZA

STRESZCZENIE *Właściwe oświetlenie wnętrza wywodzi się z natury. Rytm dnia i nocy razem z porami roku tworzą zawsze zmienną 24-godzinną strukturę światła i ciemności. Na wszystkie funkcje organizmu człowieka wpływa rytm dnia i nocy. Badania wykazały, że receptory w oku człowieka nie tylko odbierają światło. Istnieją również receptory, które wywołują biologiczne efekty związane z produkcją hormonów, melatoniny i kortyzolu. Melatonina jest hormonem snu i relaksu, natomiast kortyzol pobudza i aktywuje. Referat przedstawia melatoninowy aspekt oświetlenia wnętrza wynikający z nowego modelu fototransdukcji okołodobowej człowieka. Zaproponowano również animację przestrzeni biurowej przy pomocy dekoracyjnego urządzenia zawierającego niebieski LED 470 nm.*

Słowa kluczowe: fototransdukcja, oświetlenie wnętrza, melatonina

1. WSTĘP

Człowiek posiada dwa podstawowe systemy sterujące funkcjonowaniem organizmu w środowisku [6; 10]. Pierwszy to szybko działający system nerwowy, natomiast drugi, wolno działający, to system hormonalny, który zawiera

dr inż. Zbigniew TURLEJ
z.turlej@iel.waw.pl

mgr inż. Edmund LISAK
e.lisak@iel.waw.pl

Zakład Techniki i Systemów Oświetlenia
Instytut Elektrotechniki

gruczoły, które wydzielają do krwi chemiczne substancje sygnałowe, zwane hormonami. Hormony syntetyzowane są przez wyspecjalizowane komórki tych gruczołów. Są one wydzielane do krwi i z nią transportowane do narządów docelowych, w których regulują procesy fizjologiczne i biochemiczne. Obok hormonów dokrewnych, istnieją hormony tkankowe działające w bezpośrednim sąsiedztwie komórek, które je wytwarzają. Granica między hormonami, a innymi substancjami sygnałowymi jest płynna. Przekąźnikowe substancje sygnałowe są wytwarzane raczej przez różnego rodzaju komórki, a nie przez wyspecjalizowane komórki gruczołowe. Po wydzieleniu substancje te działają podobnie do hormonów w swoim bliskim otoczeniu (np. przekąźniki, neuroprzekąźniki, czynniki wzrostu). Aktualnie poznano ponad sto hormonów i substancji podobnych. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe informacje o najważniejszych hormonach i ich funkcjach w organizmie człowieka.

TABELA 1

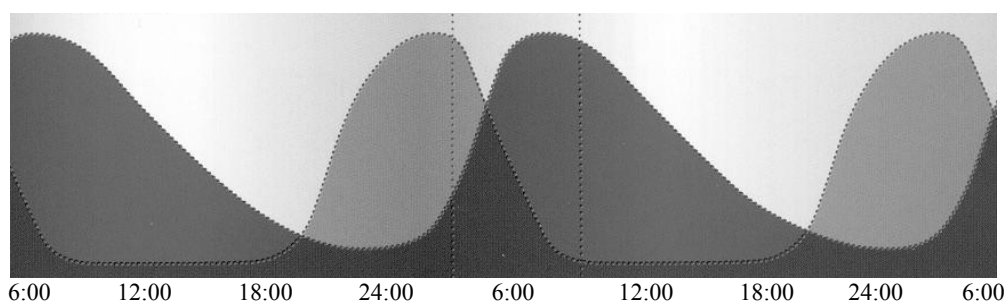
Podstawowe gruczoły i hormony przez nie produkowane oraz funkcja biologiczna hormonów, wg [6]

Rodzaj gruczołu	Hormon	Funkcja
Szyszynka	melatonina	gdy zapada zmierzch, nakłania organizm do snu
Przysadka mózgowa	folikostymulina [FSH]	steruje płodnością kobiet i mężczyzn.
	hormon luteinizujący [LH]	u kobiet reguluje cykl miesięczkowy, u mężczyzn stymuluje jądra do produkcji testosteronu
	kortykotropina	pobudza korę nadnerczy do produkcji jej hormonów
	oksytocyna	powoduje skurcze macicy w czasie porodu, wspomaga wypływ mleka u kobiet karmiących, wzmacnia popęd seksualny u kobiet
	prolaktyna:	podtrzymuje ciążę, pobudza rozwój gruczołów mlecznych
	somatotropina	odpowiada za równomierny wzrost i rozwój organizmu
	tyreotropina	pobudza tarczycę do produkcji jej własnych hormonów
	wazopresyna	zapobiega nadmiernemu wydalaniu wody z organizmu
Tarczyca	kalcytonina	zmniejsza stężenie wapnia we krwi, powoduje jego wiązanie w kościach (zapobiega osteoporozie). Działa przeciwnie w stosunku do parathormonu (jest jego antagonistą).
	tyroksyna [T4] i trójiodotyronina [T3]	przyśpieszają przemianę materii, umożliwiają lepsze wykorzystanie substancji odżywczych

ciąg dalszy tabeli 1

Przyszczyce	parathormon	zapewnia właściwe stężenie wapnia we krwi (jeśli jest go za mało, mobilizuje rezerwy tego pierwiastka z kości i zębów)
Nadnercza	adrenalina i noradrenalina	nazywane hormonami strachu, walki i ucieczki -przyspieszając pracę serca a spowalniając perystaltykę jelit, przygotowują organizm do ekstremalnych działań
	aldosteron	kontroluje wydalanie sodu i potasu z organizmu
	dehydroepiandrosteron [DHEA]	przyspiesza metabolizm tłuszczów i zmniejsza łaknienie, podnosi odporność, przeciwdziała osteoporozie, ujędrnia skórę, korzystnie wpływa na nastrój i popęd płciowy
	kortyzol	reguluje przemianę węglowodanową, hamuje procesy zapalne, oddziałuje na aktywność organizmu,
Trzustka	glukagon	działa przeciwnie do insuliny (tzw. antagonistą). Chroni przed hipoglikemią, czyli niedocukrzeniem
	insulina	obniżając stężenie glukozy we krwi, zapobiega cukrzycy. Wpływa na przemianę materii.
Jajniki	Estrogeny (główny to estradiol)	regulują cykl miesięczkowy oraz m.in. umożliwiają rozwój komórek jajowych i zajście w ciążę
	gestageny	główny to progesteron, który przygotowuje macicę do zagnieżdżenia się zapłodnionego jajeczka, zapobiega poronieniu
Jądra	androgeny (główny to testosteron)	wywołuje podniecenie seksualne, powodują rozwój drugorzędnych cech płciowych (np. owłosienia ciała).

Melatonina (hormon snu) i kortyzol (m.in. hormon aktywności) są szczególnymi hormonami, które intensywnie reagują na ilość i jakość światła w okołodobowym środowisku świetlnym człowieka (rys. 1). Rozważania w referacie doty-

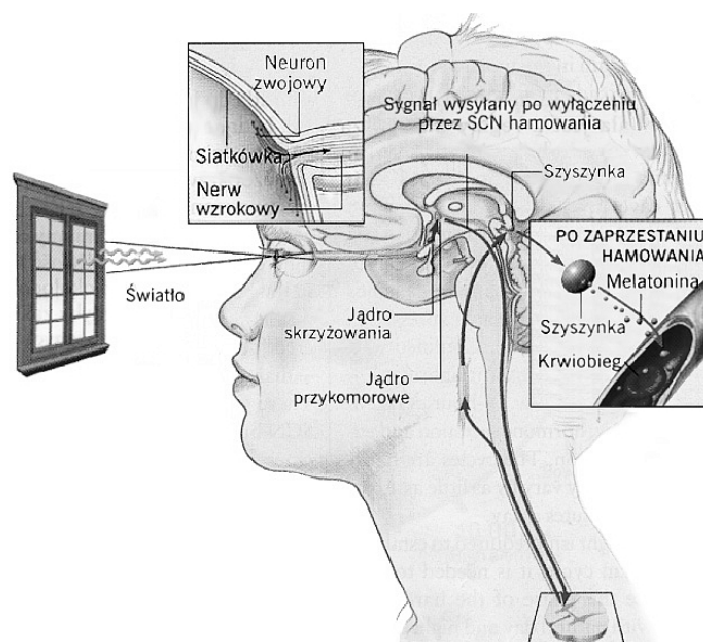


Rys. 1. Zmiany względnych poziomów melatoniny (jasno szary) i kortyzolu (ciemno szary) w rytmie okołodobowym człowieka, wg [12]

czą roli melatoniny w procesie fototransdukcji okołodobowej i prowadzą do praktycznych wniosków dotyczących oświetlenia we wnętrzu.

2. PROCESY HAMOWANIA WYDZIELANIA MELATONINY

Dobowy cykl światło-ciemność steruje m.in. procesami hamowania i wydzielania melatoniny. Mózg otrzymuje informacje o natężeniu i okresie trwania światła od neuronów zwojowych siatkówki. Bodźce świetlne są odbierane dzięki znajdującemu się w części z nich barwnikowi, melanopsynie. Sygnały te trafiają do jądra nadskrzyżowaniowego (SCN), które z kolei przesyła je do ośrodków sterujących cyklami okołodobowymi. Najlepiej poznano proces prowadzący do wydzielania przez szyszynkę melatoniny (rys. 2). Pod wpływem światła dziennego SCN wysyła impulsy (krótka strzałka), które powodują, że inny rejon mózgu, jądro przykomorowe, nie emituje sygnału prowadzącego do wydzielania tego hormonu. Po zapadnięciu zmroku SCN przestaje hamować jądro przykomorowe, co umożliwia mu wydanie rozkazu „wydzielać melatoninę”, wędrującego do szyszynki przez neurony górnej części rdzenia kręgowego (długa strzałka).



Rys. 2. Procesy hamowania i wydzielania melatoniny, wg [11]

3. ZARYS PODSTAW FOTOTRANSDUKCJI OKOŁODOBOWEJ CZŁOWIEKA

Fototransdukcja okołodobowa jest pojęciem stosowanym do opisu, w jaki sposób siatkówka przetwarza światło na nerwowe sygnały, które regulują rytmy takie jak sen, temperatura ciała oraz wpływają na produkcję hormonów. W ostatnich 15 latach prowadzono wiele badań, których celem było określenie widmowej czułości systemu okołodobowego i fotoreceptorów zaangażowanych w proces fototransdukcji okołodobowej [1; 2; 5]. Obecnie wiemy, że system ten jest maksymalnie czuły na światło krótkofalowe oraz w procesie tym uczestniczą klasyczne fotoreceptory (pręciki, czopki S, czopki M i czopki L) oraz nowo odkryte neurony zwojowe siatkówki ze światłoczułością własną (ipRGCs).

Model fototransdukcji okołodobowej człowieka został zbudowany w trzech postaciach [7]: jako równanie (1), schemat funkcjonalny (rys. 3) i obwód elektryczny (rys. 4). Pełne omówienie modelu przekracza zakres opracowania, dlatego ograniczymy się do prezentacji i ogólnego komentarza.

$$CS = \left[\left(a_1 \int M_\lambda P_\lambda d\lambda - b_1 \right) \triangleleft a_2 \times \left(\int S_\lambda P_\lambda d\lambda - k \int V_{10\lambda} P_\lambda d\lambda \right) - b_2 \right] - a_3 \left(1 - e^{-\frac{\int V'_\lambda P_\lambda d\lambda}{rodSat}} \right)$$

$$dla \int S_\lambda P_\lambda d\lambda - k \int V_{10\lambda} P_\lambda d\lambda \geq 0$$
(1)

$$CS = a_1 \int M_\lambda P_\lambda d\lambda - b_1$$

$$dla \int S_\lambda P_\lambda d\lambda - k \int V_{10\lambda} P_\lambda d\lambda < 0$$

gdzie:

- \triangleleft – diodowy operator matematyczny,
- M_λ – funkcja skuteczności spektralnej ipRGC (max. 480 nm),
- $V_{10\lambda}$ – funkcja skuteczności spektralnej 10° dla czopków L + M,
- V'_λ – funkcja skuteczności spektralnej dla pręcików,
- S_λ – funkcja skuteczności spektralnej czopków S,
- P_λ – spektralne natężenie napromienienia przy oku (W/m²/nm).

Parametry reprezentujące interakcje między różnymi fotoreceptorami

$$k = 0,31$$

$$a_1 = 0,285$$

$$a_2 = 0,2$$

$$a_3 = 0,72$$

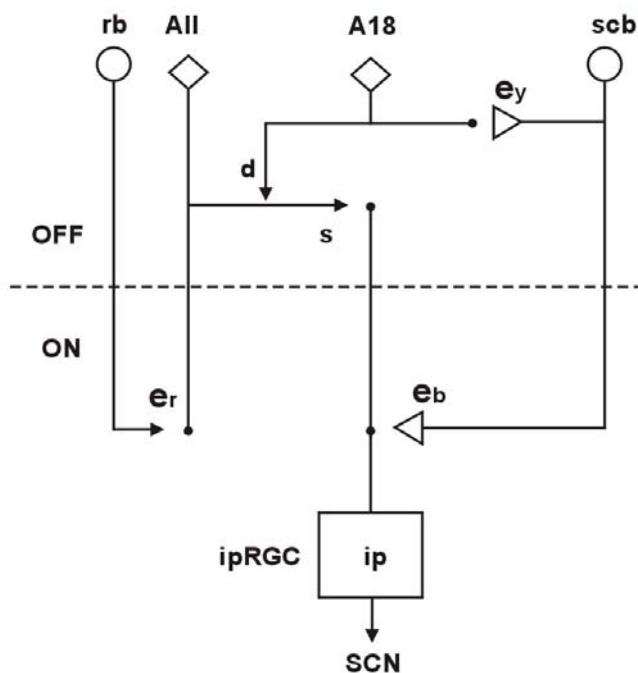
Stałe reprezentujące progi i dynamiczne charakterystyki fotoreceptorów

$$b_1 = 0,01$$

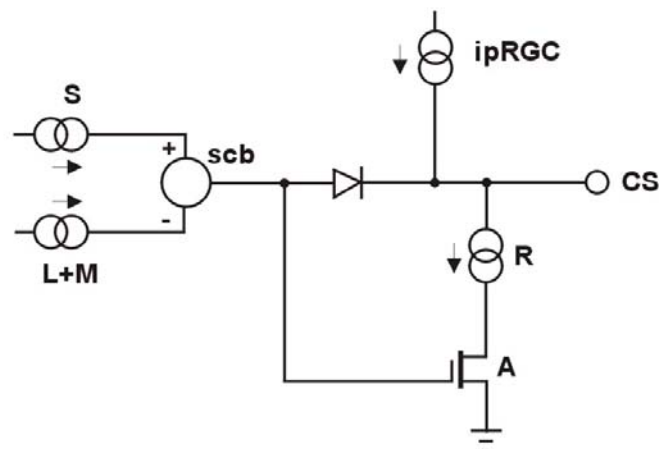
$$b_2 = 0,001$$

$$\text{rodSat} = 6,5$$

CS – bodziec okołodobowy w jednostkach okołodobowo i spektralnie ważonego natężenia napromienienia (W/m^2).



Rys. 3. Schemat funkcjonalny modelu fototransdukcji okołodobowej człowieka. Wyjaśnienie oznaczeń: rb - pręciki bipolarne, All, A18 – komórki amakrynowe, scb – dwubiegunowy czopek S, ipRGC – neurony zwojowe siatkówki ze światłoczułością własną, SCN – jądro nadskrzyżowaniowe. Pobudzenie (ON): ip – światłoczułość własna, e_r – pobudzenie (pręciki), e_b – pobudzenie (błękit), e_y – pobudzenie (żółty). Hamowanie (OFF): s – odgałężenie, d – separowanie



Rys. 4. Obwód elektryczny jako model fototransdukcji okołodobowej człowieka. Wyjaśnienie oznaczeń: CS – bodziec okołodobowy, S – fotoreceptor S czopek, scb – dwubiegunowy S czopek, L + M – fotoreceptor L i M czopki, IpRGC – neurony zwojowe siatkówki ze światłoczułością własną, R – pręcikowe bocznikowanie prądu, A – tranzystor amakrynowy

Przedstawiony wyżej model jest pierwszą zaawansowaną próbą ilościowego i wielofotoreceptorowego określania parametrów okołodobowego oświetlenia. Dotychczasowe próby modelowania oparte na pracach D. Gall'a [3] mają charakter jednowymiarowy.

4. ASPEKTY PRAKTYCZNE

W tabeli 2 podano skuteczności świetlne i bodźce okołodobowe na wat źródeł światła obliczone zgodnie z założeniami modelu.

Tabela 2

Lumeny fotopowe i bodźce okołodobowe na wat dla wybranych źródeł światła, wg [2]

Źródło światła	Lumeny fotopowe/W	Bodźce okołodobowe/W
Światłówka 3000K	100	74
Światłówka 7500K	100	157
Żarówka	12	12
Iluminant D65	70	133
Rtęciówka (przezroczysta)	45	18
Niebieski LED (470 nm)	15	418

Z obliczeń wynika, że półprzewodnikowe źródło światła (niebieski LED, 470 nm) jest niezwykle skuteczne w fototransdukcji okołodobowej. W Zakładzie Techniki i Systemów Oświetlenia Instytutu Elektrotechniki opracowano urządzenie oświetleniowe Sopol (rys. 5), którą zalecamy do stosowania w celach animacji, szczególnie w środowisku pracy biurowej (rys. 6).



Rys. 5. Urządzenie oświetleniowe Sopol z niebieskim LED 1W (470 nm) opracowana w Zakładzie Techniki i Systemów Oświetlenia Instytutu Elektrotechniki



Rys. 6. Propozycja zastosowania urządzenia Sospel dla celów animacji w przestrzeni biurowej

5. PODSUMOWANIE

Okołodobowe funkcjonowanie melatoniny w organizmie człowieka oraz ilościowe modelowanie staje się kluczowym czynnikiem hormonalnym, który warunkuje rozwój technik oświetlenia wnętrz w przyszłości. Przedstawiony model okołodobowej fototransdukcji człowieka jest pierwszą wielofotoreceptorową próbą ilościowego określania parametrów oświetlenia wnętrza. W bliższej, niż teraz może się nam wydawać, przyszłości opracowane zostaną nowe wielospektralne źródła światła oraz nowe zalecenia oświetleniowe. Natomiast energooszczędność w oświetleniu zostanie uwarunkowana nadrzędnymi zasadami wynikającymi z prawidłowego funkcjonowania systemów okołodobowych i wzrokových człowieka.

LITERATURA

1. Boyce Peter R.: Lighting research for interiors: the beginning of the end or the end of the beginning, 25th Session of the CIE, San Diego, str. I-34÷I-42, 2003.
2. Figuero M.G.: Research matters. Lighting Design + Application. May, str. 24-26, 2006.
3. Gall D.: Circadiane Lichtgrößen und deren meßtechnische Ermittlung, Licht, 54,11/12, str. 1292-1297, 2002.

4. Koolman J., Rohm K.H: Hormony. Biochemia. Wyd. Lekarskie PZWL, str. 372-395, 2005.
5. NSVV Committee on Light and Health.: Light and Health in the Workplace. November, str. 24-28, 2003.
6. Prasałek B.: Hormony nami rządzą, Zdrowie, marzec, str. 4-13, 2005.
7. Rea M.S. et al.: A model of phototransduction by the human circadian system. Brain Research Reviews 50, str. 213-228, 2005.
8. Turlej Z.: Systemy oświetlenia biodynamicznego we wnętrzu, XV Krajowa Konferencja Oświetleniowa „Technika Świetlna'06”, Warszawa, str. 44-53, 2006.
9. van Bommel WJM, van den Beld GJ: Lighting for work: a review of visual and biological effects, Lighting Research & Technology Nr 4, str. 255-269, 2004.
10. Winston R.: Endocrine System. Body, str.18-19, 2005.
11. Wright K.: Czas życia. Świat Nauki. Listopad – grudzień, str. 40-47, 2004.
12. www.dynamiclighting.philips.com

Rękopis dostarczono, dnia 31.08.2006 r.

THE HORMON FACTOR AND AN INTERIOR LIGHTING

Z. TURLEJ, E. LISAK

ABSTRACT *The proper interior lighting takes its lead from nature. The rhythm of day and night, together with the seasons, creates ever-changing light and dark patterns during the 24-hours. All functions in the human body are influenced by the rhythm of night and day. Research has shown that we not only have receptors in our eyes which are sensitive to the visible spectrum of light. There are also receptors of the hormones melatonin and cortisol. While melatonin makes us sleepy and relaxed, cortisol makes us feel awake and active. The paper presents the melatonin aspect of an interior lighting based on the new model phototransduction by the human circadian system. Also, there is the proposal for an animation office space by the LED 470 nm device.*



Dr inż. Zbigniew Janusz Turlej ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej o specjalności Technika Świetlna w 1973 r. W 1978 r. uzyskał tytuł doktora nauk technicznych na Politechnice Warszawskiej jako stypendysta Polamu. Od 1973 roku pracował w Centralnym Ośrodku Badawczo-Rozwojowym „Polam”, a po jego likwidacji – od roku 2001 jest zatrudniony w Instytucie Elektrotechniki jako adiunkt, Kierownik Zakładu Techniki i Systemów Oświetlenia. Główny obszar działalności zawodowej to: konstrukcje opraw oświetleniowych wewnętrznych i zewnętrznych oraz projektowanie i badania pożądanego otoczenia świetlnego w miejscach pracy ze szczególnym uwzględnieniem czynników zdrowotnych.

Autor i współautor stu kilkudziesięciu artykułów i referatów oraz wielu opracowań, również opatentowanych i wdrożonych w praktyce.

Mgr inż. Edmund Lisak urodził się w 1950 roku. W 1974 roku ukończył Wydział Elektroniki na Politechnice Warszawskiej ze specjalnością Technologia Elektronowa. Pracę zawodową rozpoczął w roku 1975 w Zakładach Wytwórczych Lamp Elektrycznych jako technolog przy wdrażaniu do produkcji laserów gazowych. Od 1978 roku pracował w Centralnym Ośrodku Badawczo-Rozwojowym – „Polam”. W tym okresie był współtwórcą kilku patentów i wzorów użytkowych z zakresu laserów He-Ne, lamp błyskowych i ich aplikacji. Zajmował się również technologią i konstrukcją świetlówek bakteriobójczych oraz urządzeń do oczyszczania powietrza z mikroorganizmów. Brał udział we wdrażaniu tej techniki. Od 2001 roku jest zatrudniony w Instytucie Elektrotechniki. Zajmuje się zastosowaniami półprzewodnikowych źródeł światła (LED) w oświetleniu. Jest współautorem szeregu prac badawczo-rozwojowych oraz referatów i artykułów z tego zakresu.

