

Utjecaj umjetnog svjetla na mentalno zdravlje: cirkadijalni ritmovi, spavanje i emocionalna stabilnost

The Impact of Artificial Light on Mental Health: Circadian Rhythms, Sleep and Emotional Stability

DAMIR MULC

Klinika za psihijatriju Vrapče, Zagreb

SAŽETAK _____Svjedoci smo velikih promjena koje tehnološki napredak unosi u stil života čovjeka, no svijest o njihovim učincima na zdravlje razvija se sporije. Među sveobuhvatnijim utjecajima tehnologije ističe se učinak umjetnog svjetla, a procjene da je više od 80 % ljudske populacije izloženo noćnom svjetlu predstavljaju ne samo novu svakodnevicu nego ujedno i zdravstvene izazove. Osnovni pretpostavljeni mehanizam kojim svjetlo utječe na organizam uključuje intrinzično fotosenzitivne retinalne ganglijske stanice koje putem suprahijazmatske jezgre reguliraju lučenje melatonina, odnosno općenitu sinkronizaciju bioloških ritmova. Noćna izloženost svjetlu, osobito svjetlu plavoga spektra, dovodi do supresije lučenja melatonina i pomak cirkadijalne faze, uzrokujući time desinkronizaciju centralnih i perifernih intrinzičnih bioloških ritmova. Posljedice takve neusklađenosti povezuju se s poremećajima spavanja, metaboličkim i kardiovaskularnim bolestima te povećanim rizikom od određenih karcinoma. Poremećaji spavanja i cirkadijalne disrupcije ujedno se spominju i kao rizični i precipitirajući čimbenici u nastanku psihijatrijskih poremećaja, od kojih se ističu oni iz afektivnog spektra. Važno je istaknuti da metodološka ograničenja istraživanja otežavaju donošenje konačnih zaključaka iako njihovi nalazi dosljedno upućuju na značajan utjecaj umjetnog svjetla na neuroendokrine i ponašajne funkcije. Iz tog razloga cirkadijalna medicina ističe važnost optimizacije svjetlosne izloženosti, prvenstveno povećanjem dnevne i smanjenjem večernje izloženosti svjetlu, kao ključnu strategiju očuvanja zdravlja u suvremenom okruženju.

KLJUČNE RIJEČI: poremećaji ritma spavanja, umjetno noćno svjetlo, cirkadijalna medicina

SUMMARY _____We are witnessing profound changes that technological progress is bringing to the human lifestyle, however, awareness of its effects on health is developing more slowly. Among the most pervasive impacts of technology, the effect of artificial light stands out, and estimates that more than 80% of the global population is exposed to light at night represent not only a new everyday reality but also a significant public health challenge. The primary proposed mechanism by which light affects the organism involves intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, which regulate melatonin secretion and overall synchronization of biological rhythms via the suprachiasmatic nucleus. Nighttime light exposure (particularly "blue spectrum") leads to suppression of melatonin secretion and a phase shift of the circadian system, thereby causing desynchronization of central and peripheral intrinsic biological rhythms. The consequences of such misalignment are associated with sleep disturbances, metabolic and cardiovascular diseases, as well as an increased risk of certain cancers. Sleep disturbances and circadian disruption are also described as both risk and precipitating factors in the development of psychiatric disorders, particularly those within the affective spectrum. It is important to emphasize that methodological limitations of existing research make it difficult to draw definitive conclusions, although findings consistently indicate a significant impact of artificial light on neuroendocrine and behavioral functions. For this reason, circadian medicine highlights the importance of optimizing light exposure, primarily by increasing daytime light and reducing evening light, as a key strategy for preserving health in the modern environment.

KEY WORDS: circadian rhythm disorder, artificial light at night, circadian medicine



Uvod

Često lako zamjećujemo pogodnosti koje nam pruža napredak tehnologije, ali neupitno nam zaostaje dojam određene latencije u razvoju svijesti o utjecaju te iste tehnologije na naše zdravlje, odnosno ekosustav i civilizaciju u cjelini. Jedno od takvih tehnoloških dostignuća, i ujedno najznačajnijih obilježja moderne civilizacije, jest i korištenje umjetnoga svjetla, koje uglavnom previđamo kao jedno od važnih čimbenika na naše zdravlje i stil življenja. Pro-

matrajući iz evolucijske perspektive i ljudske tranzicije od društvenog uređenja lovaca sakupljača pa sve do današnjih dana, u kojima dominira sjedilački način života, umjetna rasvjeta produžila je trajanje dana duboko u noć, omogućujući nam tako uvjete za rekreaciju ili rad, ali je s druge strane utjecala i na naša evolucijski zadana ponašanja. Procjene da je više od 80 % populacije pod utjecajem umjetnoga svjetla tijekom noći (eng. *artificial light at night*, ALAN) (1) predstavljaju i globalnu promjenu za ljudsku vrstu pa je i upit-

no do koje mjere možemo izdvajati njihov učinak. Učinci umjetnoga svjetla odnose se i na vanjske (npr. ulična rasvjeta) i na unutarnje izvore (npr. elektronički uređaji) tako da unutarnja izloženost primarno pogađa ljude, dok vanjska dodatno utječe i na floru i faunu. Stoga ne čudi što se u posljednjim dvama desetljećima pojačao znanstveni interes za proučavanje utjecaja umjetnoga svjetla na naš organizam, tako da su ciljevi raznih istraživanja uglavnom bili vezani uz epidemiološko identificiranje specifičnih komorbiditeta, pa su metaanalize pokazale kako izloženost umjetnom svjetlu tijekom noći značajno povećava rizik za dijabetes, pretilost, kardiovaskularne bolesti, kognitivne i afektivne smetnje, ubrzano starenje te neke vrste karcinoma kod ljudi (2). Nadalje, s vremenom su definirani i kvantificirani ključni parametri svjetlosne izloženosti (intenzitet, trajanje, vrijeme i valna duljina) potrebni za izazivanje pobuđujućih odgovora u ljudi, odnosno njihov odnos s promjenama na endokrinološkoj i elektrofiziološkoj razini (3). Posebno zabrinjava utjecaj izloženosti umjetnoj svjetlosti noću među mlađom populacijom, bilo zbog slobodnih aktivnosti ili profesionalnih obaveza jer su zbog veće širine zjenice i prozirnije očne leće mlađe osobe vjerojatno osjetljivije na ALAN (4).

Cirkadijalni ritmovi

Kako bismo mogli bolje proučiti utjecaj umjetnoga svjetla, važno je prvo razumjeti kako je posljedica izmjene dana i noći na Zemlji bila formiranje bioloških cirkadijalnih ritmova kojima bi primarna funkcija takvih oscilacija bila omogućiti optimalnu prilagodbu organizma okolišu, odnosno izmjenama uvjeta u okolišu tijekom dana i noći (5). Koliko su te dnevne oscilacije raznih bioloških i ponašajnih procesa ukorijenjene u našu biologiju, potvrđuje nam činjenica da one opstaju čak i u odsutnosti vanjskih signala prema kojima bi se ravnali. Takva duboka usklađenost, koja seže od molekularne do ponašajne razine, moguća je uz međusobnu interakciju, odnosno hijerarhijsku organizaciju oscilatornih sustava. Naime, pokazano je kako skoro svaka stanica u organizmu pokazuje ritmičnu transkripciju i translaciju gena (poznatih kao *clock* geni), u vidu transkripcijsko-translacijske povratne petlje čiji ritam okvirno odgovara trajanju od 24 sata (6). Ti su geni direktno ili indirektno uključeni u regulaciju ritmičnosti staničnih procesa poput metabolizma, proliferacije, sinteze proteina itd. Kako bi se postigla međusobna usklađenost svih pojedinih cirkadijalnih ritmova, nužno je postojanje hijerarhijski nadređene strukture koja koordinira sinkronizaciju. Tu ulogu ima suprahijazmatska jezgra hipotalamusa (SCN) koja usklađuje unutarnje cirkadijalne oscilacije u različitim stanicama i tkivima s vanjskim signalima o vremenu. Budući da periferne stanice i tkiva organizma nisu izravno sinkronizirane svjetlom, njihovi molekularni satovi ovise o signalima iz SCN-a kako bi ostali usklađeni s okolišem. Mnogi signali iz okoliša (svjetlo i tama), razna stanja i

ponašanja (primjerice, socijalne navike, fizička aktivnost, jedenje ili nakupljanje produkata metabolizma) predstavljaju signale organizmu (poznate i kao njem. *Zeitgeberi*) prema kojima se ravna ritam unutarnjega sata. Međutim, najznačajniji signal za SCN daje izmjena svjetla i tame u okolini. S obzirom na to da se ritam SCN-a i perifernih oscilatora u stanicama i tkivima kontinuirano usklađuje humoralnom i autonomnom regulacijom, a u slučaju da postoji odudaranje u njihovoj fazi (primjerice, zbog djelovanja umjetnoga svjetla tijekom noći i time pomaka u fazi za SCN u odnosu na periferne oscilatore) dolazi do međusobne neusklađenosti unutarnjih cirkadijalnih ritmova. U slučaju perzistiranja takvog signala, s vremenom može doći do uspostavljanja unutarnje usklađenosti, ali faza budnosti/spavanja nije u korelaciji s vanjskim signalima iz okoliša što može prouzročiti poremećaje cirkadijalnog ritma.

Fiziološki utjecaj svjetla na organizam

Kako bismo objasnili utjecaj svjetla na organizam, potrebno je najprije napomenuti da su u mrežnici oka, uz štapiće i čunjiće, otkriveni i fotoreceptori trećeg tipa – tzv. intrinzično fotosenzitivne retinalne ganglijske stanice (ipRGC) (7). Te stanice sadrže fotopigment melanopsin koji u ljudi pokazuje maksimalnu osjetljivost pri cca 480 nm (što odgovara plavoj boji svjetlosti). Važno je naglasiti da sama valna duljina nije presudan čimbenik koji utječe na aktivaciju receptora – važni su i intenzitet svjetla i trajanje izloženosti (8). Jedno od područja koje prima projekcije ipRGC stanica je i ranije spomenuta SCN koja svojim daljnjim projekcijama regulira lučenje melatonina iz epifize, dok putem autonomne inervacije modulira funkcije perifernih organa i endokrinog sustava. Melatonin pak djeluje kao hormonski signal „biološke noći“, sinkronizira periferni cirkadijalni sustav i sudjeluje u regulaciji spavanja, termoregulaciji i drugim neuroendokrinim funkcijama. Njegova sekrecija slijedi cirkadijalni ritam: započinje u večernjim satima, doseže vrhunac tijekom noći i inhibira se izlaganjem svjetlu. S druge strane, SCN prenosi cirkadijalne signale i u paraventricularnu jezgru (PVN) modulirajući tako dnevni ritam kortizola putem CRH (engl. *Corticotropin-releasing hormone*) neurona. Osim neuroendokrine kontrole, SCN djeluje i preko autonomnoga živčanog sustava na osjetljivost nadbubrežne kore na adrenokortikotropni hormon omogućavajući tako višestruku kontrolu nad hipotalamo-pituitarno-adrenalnom (HPA) osi. Lučenje kortizola u fiziološkim uvjetima doseže vrhunac koncentracije u ranim jutarnjim satima te zatim postupno opada tijekom dana. Izloženost jakom svjetlu u kasnim večernjim i ranim jutarnjim satima, kada razine kortizola prirodno rastu, dovodi do njegova dodatnog porasta (otprilike 140 – 150 %), što može uzrokovati fazni pomak cirkadijalnog ritma, dok tijekom dana takva izloženost svjetlu nema značajan učinak. Svjetlo kraćih valnih duljina (osobito plavo) pokazuje jači učinak na

povećanje kortizola potvrđujući tako utjecaj svjetla opisanim putem preko ipRGC stanica, SCN i PVN na HPA os (9).

Utjecaj noćnog svjetla

Unatoč relativno velikom broju istraživanja o utjecaju umjetnog svjetla tijekom noći na organizam, njihova metodološka heterogenost i često mali uzorci ograničavaju donošenje čvrstih zaključaka. Ipak, ističu se dva osnovna učinka koja se dosljedno mogu pratiti i na animalnim modelima (10), a to su akutna supresija melatonina i pomak cirkadijalne faze. Važno je napomenuti da, iako su oba procesa inducirana svjetlom, ne proizlaze iz jedinstvenoga podležećeg mehanizma i barem su djelomično razdvojivi (11). Kako je prethodno napomenuto, večernje izlaganje svjetlu tijekom približno dva sata značajno suprimira lučenje melatonina (12). Melatonin općenito djeluje na produljenje sveukupnog trajanja spavanja, povećava učinkovitost i skraćuje latenciju uspjavanja te modulira arhitekturu spavanja. Dok je supresija melatonina tijekom dana korisna, noćna supresija dovodi do ranije opisane cirkadijalne neusklađenosti između unutarnjih ritmova i vanjskog okoliša, ali i kao unutarnja desinkronizacija između suprahijazmatske jezgre (SCN) i perifernih oscilatornih procesa u stanicama i tkivima.

Perzistiranje takve desinkronizacije kod pojedinca ponajviše ovisi o obrascu izloženosti svjetlu i individualnim čimbenicima poput dobi i kronotipa (jutarnji ili večernji tip). U tom pogledu je važno imati na umu da učinak svjetla na fazu cirkadijalnog ritma ovisi i o vremenu izloženosti tijekom dana, pri čemu jutarnje svjetlo uzrokuje ubrzanje, dok večernje svjetlo dovodi do kašnjenja u fazi (13). Slijedom navedenog, kronična izloženost svjetlu u neprikladno vrijeme može pomaknuti cirkadijalni sustav sprječavajući sinkronizaciju SCN-a s okolišem. Ova disrupcija utječe i na periferni cirkadijalni sustav jer narušava funkciju stanica i organa čiji su ritmovi u tom smislu međusobno nesinkronizirani, s posljedicama na metabolizam, hormonsku regulaciju i kognitivne funkcije. Klinički se manifestira kao odgođeni ili unapredovali fazni poremećaj spavanja, kronična nesanica ili umor uz povećani rizik za različite kronične bolesti (14).

Zdravstveni rizici povezani s noćnim svjetlom

S obzirom na to da su *clock* geni pronađeni u gotovo svim tkivima i stanicama organizma, da sudjeluju i u regulaciji fizioloških funkcija poput metabolizma, upale i procesa reparacije stanica, poremećaji cirkadijalnog ritma su sve više prepoznati kao važni patofiziološki mehanizmi u mnogim kroničnim bolestima (15). Iako kronične neusklađenosti cirkadijalnog ritma mogu ozbiljno utjecati na ljudsko zdravlje, izuzetno je teško izravno dokazati učinke nepravilno tempirane izloženosti svjetlu i njezine dugoročne zdravstvene posljedice. Prema tome, iz razloga što je u modernome društvu

izloženost umjetnom svjetlu praktički neizbježna, epidemiološke studije koje sugeriraju ulogu svjetla u zdravstvenim rizicima uglavnom pružaju neizravne dokaze. U svakom slučaju, brojni dokazi upućuju da visoke razine svjetla noću, bilo vanjskog ili unutarnjeg, koreliraju s povećanom tjelesnom težinom i pretilošću kod ljudi.

Također, povećana učestalost dislipidemije, subkliničke ateroskleroze i centralne pretilosti sugerira da noćno svjetlo može predstavljati važan čimbenik rizika za nastanak i pogoršanje kardiovaskularnih bolesti (16). Nadalje, neki od konzistentnijih epidemioloških podataka sugeriraju da noćni rad ili kronični *jet lag* povećavaju i rizik od razvoja nekih vrsta karcinoma s posebnim naglaskom na karcinom dojke i prostate, ali i karcinome pluća, kolona i kože (17). Na temelju tih, ali i drugih dokaza, Međunarodna agencija za istraživanje raka je 2007. i 2019. klasificirala rad u smjenama s cirkadijalnim poremećajima u kategoriju vjerojatnoga kancerogena za ljude (17).

Poremećaji spavanja uzrokovani noćnim svjetlom

Supresija melatonina pokazuje spektralnu osjetljivost usklađenu s melanopsinom (dakle, s najosjetljivijim učinkom supresije na oko 460 nm), a sličan maksimum osjetljivosti opaža se i kod efekta pomaka cirkadijalne faze (12). Prema tome je logično kako svjetlo bogato plavim spektrom i visokog intenziteta, poput LED izvora, ima najsnažniji učinak na ljudski cirkadijalni sustav i uzrokuje najveći stupanj maladaptacije. Ti se podatci potvrđuju i time što sve više istraživanja povezuje uporabu pametnih telefona prije spavanja s većom učestalošću subjektivnih problema sa spavanjem, smanjenom učinkovitošću spavanja, produljenom latencijom uspjavanja, lošijom kvalitetom spavanja te odgodom vremena spavanja, odnosno skraćanjem ukupnog trajanja spavanja. Iako moderni uređaji pružaju mogućnosti poput „noćnog“ načina rada koji mijenja spektar svjetla, nije u potpunosti razjašnjeno u kojoj mjeri su negativni učinci posljedica samog svjetla, a u kojoj mjeri drugih čimbenika, poput kognitivne ili emocionalne pobuđenosti (18).

U svakom slučaju, rezultati metaanalize nedvojbeno pokazuju kako je povećana izloženost ALAN-u bila povezana s 22 % većom učestalošću problema sa spavanjem, pri čemu je jasno značajniju korelaciju imalo unutarnje svjetlo nad vanjskim (19). Rezultate potvrđuje i recentnija metaanaliza koja je pokazala da izloženost umjetnom noćnom svjetlu povećava rizik od poremećaja spavanja za 27 %, pri čemu je izloženost unutarnjem svjetlu ponovno pokazala veću korelaciju u odnosu na izloženost vanjskoj rasvjeti. Analiza podskupina pokazala je da učinci ALAN-a na poremećaj spavanja kod djece i adolescenata nisu značajno različiti u odnosu na učinak na odrasle, ali je pokazana povezanost ALAN-a sa skraćenim trajanjem spavanja, s povećanim rizikom od 26 % (20). Kako

bismo bolje sagledali učinak umjetnoga svjetla na poremećaje spavanja, potrebno je istaknuti da učestalost nesanice u općoj populaciji iznosi otprilike 13 % (21). Pritom klinički kriteriji za nesanicu ne uzimaju u obzir njezin uzrok. Drugim riječima, u određenog broja osoba s nesanicom u podlozi se nalazi poremećaj cirkadijalnog ritma. Na to upućuje i istraživanje pacijenata s nesanicom, u kojem je znatan udio ispitanika uspio zaspati u preranoj cirkadijalnoj fazi, što govori u prilog cirkadijalnom uzroku nesanice (22).

Poremećaji cirkadijalnog ritma i psihijatrijski poremećaji

Poremećaji spavanja i cirkadijalnih ritmova općenito predstavljaju rizične i precipitirajuće čimbenike za psihijatrijske poremećaje doprinoseći njihovoj progresiji, a mogu biti i terapijska meta. Osobito se to ističe za bipolarni afektivni poremećaj gdje su poremećaji cirkadijalnog ritma važan precipitirajući čimbenik za (hipo)maničnu epizodu (23).

Osim ranije spominjane nesanice, općenit je utjecaj noćnoga svjetla na psihička stanja i psihijatrijske poremećaje zamjetan, ali i relativno varijabilan, pri čemu su najčešće asocirani poremećaji iz afektivnog spektra (24, 25). Iako točni mehanizmi nisu potpuno razjašnjeni, važno je istaknuti kako su identificirani polimorfizmi *clock* gena povezani s afektivnim poremećajima (26), a s druge strane, terapijske intervencije poput deprivacije spavanja ili fototerapije mogu imati određen antidepresivni učinak (27).

Nadalje, fiziološka mjerenja cirkadijalnih ritmova izmijenjena su kod nekih pacijenata s depresijom. Kako su cirkadijalni ritmovi uključeni u brojne biološke funkcije, uključujući regulaciju tjelesne temperature, hormonske razine, krvni tlak, metabolizam, staničnu regeneraciju i razine BDNF-a, cikluse spavanja i budnosti te procese transkripcije i translacije DNA, kod bolesnika s depresijom uočavaju se promjene njihovih fizioloških obrazaca. One uključuju smanjenu amplitudu dnevnih oscilacija tjelesne temperature, očuvanu cirkadijalnu dinamiku uz povišene razine kortizola tijekom cijelog dana te izostanak ili smanjenje noćnog vrhunca lučenja melatonina i BDNF-a. Takva posljedična desinkronizacija između unutarnjih bioloških ritmova i vanjskih vremenskih signala predstavlja ključni mehanizam koji bi mogao biti u podlozi depresije tako da je jedna od hipoteza o neurobiološkoj podlozi depresije, barem u dijela bolesnika, ta da se radi o poremećaju cirkadijalnog ritma koji uzrokuje fazno kašnjenje ciklusa spavanja i budnosti. Kako su poremećaji rasporedjenja povezani s disrupcijom cirkadijalno reguliranih funkcija (poput spavanja ili sekrecije kortizola), a s druge strane, narušavanje ritmova (npr. *jet lag*, noćni rad, umjetno svjetlo noću) može izazvati ili pogoršati afektivne simptome u osjetljivih pojedinaca, sveukupno se nameće zaključak kako je odnos između cirkadijalnog sustava i afektivnih poremećaja dvosmjernan (28).

Umjetno svjetlo i deprivacija spavanja

U narativu o utjecaju umjetnoga svjetla u razdoblju noći ne smijemo izostaviti niti onaj najjednostavniji koji bi mogao biti uzrokovan njegovim neposrednim djelovanjem na budnost, odnosno njegov utjecaj putem deprivacije spavanja. Budući da izlaganjem umjetnom svjetlu zapravo gubimo glavni vanjski signal za spavanje (prirodno svjetlo), često ovisimo o drugim nesvjetlosnim signalima i uz potencijalno povećanu aktivnost (mentalnu ili fizičku) naš endogeni cirkadijalni ritam biva na neki način zanemaren. Posljedica toga je sveukupno odlaganje odlaska na spavanje pa je uz stalne dnevne obaveze deprivacija spavanja (akutna ili kronična) relativno česta pojava. Akutna deprivacija spavanja, osim što subjektivno povećava dnevnu pospanost, dovodi i do pogoršanja mnogih aspekata kognitivnog funkcioniranja. Preciznijim analizama je utvrđeno da je najpogođeniji aspekt kognicije njezina fleksibilnost, što se očituje smanjenom sposobnošću oslanjanja na nove informacije odnosno povećanim oslanjanjem na automatizirane, stereotipne i repetitivne obrasce mišljenja i ponašanja (29). Možda i značajniji jest utjecaj deprivacije spavanja na afektivni aspekt funkcioniranja. Prepoznato je kako su glavne promjene zapravo posljedica povećane reaktivnosti na emocionalne podražaje (i pozitivne i negativne) što u konačnici dovodi do toga da su nenaspavani pojedinci emocionalno labilni i sniženoga praga tolerancije na frustraciju. Uz dodatno specifično narušenu sposobnost procjene rizika, jasno je da deprivacija spavanja može utjecati na proces donošenja odluka te korištenje kognitivnih i bihevioralnih strategija suočavanja u pojedinaca (30).

Zaključak i preporuke

Učestalost afektivnih poremećaja značajno je porasla u posljednjim desetljećima, paralelno s porastom upotrebe umjetnoga svjetla noću. Osobe koje žive u urbanim sredinama i radnici u noćnim smjenama kronično su izloženi ALAN-u pa se za te skupine ALAN može smatrati modernim disruptorom cirkadijalnog sustava. Iz povijesne perspektive, široka primjena električne rasvjete dogodila se prije razumijevanja cirkadijalne biologije jer učinci onoga što danas prepoznavamo kao veliku promjenu za cirkadijalni sustav tada nisu bili uzeti u obzir. Stoga je ključno razumjeti utjecaj moderne tehnologije na našu biologiju i zdravlje kako bismo tim utjecajima mogli primjereno upravljati (31). Cirkadijalna medicina, pojam koji se počeo sve češće spominjati, usmjerena je na očuvanje i optimizaciju biološkoga sata putem kontrole svjetlosne izloženosti.

Neke od njezinih kliničkih implikacija su, primjerice, terapijska primjena svjetla koja se rabi za korekciju cirkadijalnih poremećaja, depresivnih stanja i problema sa spavanjem, osobito kod osoba izloženih nepravilnim smjenama rada ili kroničnome noćnom svjetlu. Higijena svjetla uključuje smanjenje izloženosti plavom spektru navečer, čime se sprječava

vaju potiskivanje melatonina i poremećaji spavanja. Preporučene smjernice za optimizaciju izloženosti svjetlu temelje se na održavanju pravilnih cirkadijalnih, neuroendokrinih i neurobiheviornalnih odgovora na svjetlosnu stimulaciju oka. Tijekom dana se preporučuje minimalna melanotička ekvivalentna dnevna iluminacija (EDI) od 250 lx, što je poželjno postići prirodnim dnevnim svjetlom, kako bi se osigurala optimalna aktivacija ipRGC i pravilno usklađivanje SCN. Tri sata prije odlaska na spavanje preporučuje se sma-

njenje izloženosti svjetlu na maksimalnu melanotičku EDI od 10 lx. Za vrijeme spavanja idealno je što tamnije okruženje, s maksimalnom ambijentalnom melanotičkom EDI od 1 lx, čime se osigurava minimalna interferencija sa snažnim fiziološkim djelovanjem melatonina. Primjena ovih smjernica omogućuje stabilizaciju cirkadijalnih ritmova, poboljšava kvalitetu spavanja te podržava neuroendokrine i neurobiheviornalne funkcije povezane sa svjetlosnom stimulacijom (32).

LITERATURA

1. Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, Kyba CC, Elvidge CD, Baugh K i sur. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Sci Adv*. 2016 Jun 10;2(6):e1600377. doi: 10.1126/sciadv.1600377.
2. Svechikina A, Portnov BA, Trop T. The impact of artificial light at night on human and ecosystem health: a systematic literature review. *Landscape Ecology*. 2020 Aug;35(8):1725–42.
3. Bonmati-Carrion MA, Arguelles-Prieto R, Martinez-Madrid MJ, Reiter R, Hardeland R, Rol MA i sur. Protecting the melatonin rhythm through circadian healthy light exposure. *Int J Mol Sci*. 2014 Dec 17;15(12):23448–500. doi: 10.3390/ijms151223448.
4. Lee SI, Matsumori K, Nishimura K, Nishimura Y, Ikeda Y, Eto T i sur. Melatonin suppression and sleepiness in children exposed to blue-enriched white LED lighting at night. *Physiol Rep*. 2018 Dec;6(24):e13942. doi: 10.14814/phy2.13942.
5. Kuhlman SJ, Craig LM, Duffy JF. Introduction to Chronobiology. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2018 Sep 4;10(9):a033613. doi: 10.1101/cshperspect.a033613.
6. Bollinger T, Schibler U. Circadian rhythms - from genes to physiology and disease. *Swiss Med Wkly*. 2014 Jul 24;144:w13984. doi: 10.4414/smww.2014.13984.
7. Berson DM, Dunn FA, Takao M. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*. 2002 Feb 8;295(5557):1070–3. doi: 10.1126/science.1067262.
8. Cajochen C. Alerting effects of light. *Sleep Med Rev*. 2007 Dec;11(6):453–64. doi: 10.1016/j.smrv.2007.07.009.
9. Robertson-Dixon I, Murphy MJ, Crewther SG, Riddell N. The Influence of Light Wavelength on Human HPA Axis Rhythms: A Systematic Review. *Life (Basel)*. 2023 Sep 26;13(10):1968. doi: 10.3390/life13101968.
10. Emmer KM, Russart KLG, Walker WH, Nelson RJ, DeVries AC. Effects of light at night on laboratory animals and research outcomes. *Behav Neurosci*. 2018 Aug;132(4):302–314. doi: 10.1037/bne0000252.
11. Rahman SA, St Hilaire MA, Gronfier C, Chang AM, Santhi N, Czeisler CA i sur. Functional decoupling of melatonin suppression and circadian phase resetting in humans. *J Physiol*. 2018 Jun;596(11):2147–2157. doi: 10.1113/JP275501.
12. Wright HR, Lack LC. Effect of light wavelength on suppression and phase delay of the melatonin rhythm. *Chronobiol Int*. 2001 Sep;18(5):801–8. doi: 10.1081/cbi-100107515.
13. Kronauer RE, Forger DB, Jewett ME. Quantifying human circadian pacemaker response to brief, extended, and repeated light stimuli over the photopic range. *J Biol Rhythms*. 1999 Dec;14(6):500–15. doi: 10.1177/074873099129001073.
14. Tähkämö L, Partonen T, Pesonen AK. Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm. *Chronobiol Int*. 2019 Feb;36(2):151–170. doi: 10.1080/07420528.2018.1527773.
15. Panda S. Circadian physiology of metabolism. *Science*. 2016 Nov 25;354(6315):1008–1015. doi: 10.1126/science.aah4967.
16. Fleury G, Masís-Vargas A, Kalsbeek A. Metabolic Implications of Exposure to Light at Night: Lessons from Animal and Human Studies. *Obesity (Silver Spring)*. 2020 Jul;28 Suppl 1(Suppl 1):S18–S28. doi: 10.1002/oby.22807.
17. IARC Monographs Vol 124 group. Carcinogenicity of night shift work. *Lancet Oncol*. 2019 Aug;20(8):1058–1059. doi: 10.1016/S1470-2045(19)30455-3.
18. Wahl S, Engelhardt M, Schaupp P, Lappe C, Ivanov IV. The inner clock-Blue light sets the human rhythm. *J Biophotonics*. 2019 Dec;12(12):e201900102. doi: 10.1002/jbio.201900102.
19. Xu YX, Zhang JH, Tao FB, Sun Y. Association between exposure to light at night (LAN) and sleep problems: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Sci Total Environ*. 2023 Jan 20;857(Pt 1):159303. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159303.
20. Kretzschmar J, Rath N, Starke KR, Seidler A, Freiberg A. The effect of exposure to artificial light at night (ALAN) on sleep disturbance: a systematic review and meta-analysis. *Environ Res*. 2026 Mar 1;292:123689. doi: 10.1016/j.envres.2026.123689.
21. van Straten A, Weinreich KJ, Fábán B, Reesen J, Grigori S, Luik AI i sur. The Prevalence of Insomnia Disorder in the General Population: A Meta-Analysis. *J Sleep Res*. 2025 Oct;34(5):e70089. doi: 10.1111/jsr.70089.
22. Flynn-Evans EE, Shekleton JA, Miller B, Epstein LJ, Kirsch D, Brogna LA i sur. Circadian Phase and Phase Angle Disorders in Primary Insomnia. *Sleep*. 2017 Dec 1;40(12). doi: 10.1093/sleep/zsx163.
23. Alloy LB, Ng TH, Titone MK, Boland EM. Circadian Rhythm Dysregulation in Bipolar Spectrum Disorders. *Curr Psychiatry Rep*. 2017 Apr;19(4):21. doi: 10.1007/s11920-017-0772-z.

24. Li X, Li S, Geng Q, Wang B, Guo X, Yan S i sur. Light at night exposure and risk of depression: a meta-analysis of observational studies. *J Glob Health*. 2025 Oct 31;15:04304. doi: 10.7189/jogh.15.04304.
25. Deprato A, Haldar P, Navarro JF, Harding BN, Lacy P, Maidstone R i sur. Associations between light at night and mental health: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2025 Apr 25;974:179188. doi: 10.1016/j.scitotenv.2025.179188.
26. Kripke DF, Nievergelt CM, Joo E, Shekhtman T, Kelsoe JR. Circadian polymorphisms associated with affective disorders. *J Circadian Rhythms*. 2009 Jan 23;7:2. doi: 10.1186/1740-3391-7-2.
27. Bunney JN, Potkin SG. Circadian abnormalities, molecular clock genes and chronobiological treatments in depression. *Br Med Bull*. 2008;86:23-32. doi: 10.1093/bmb/ldn019.
28. Germain A, Kupfer DJ. Circadian rhythm disturbances in depression. *Hum Psychopharmacol*. 2008 Oct;23(7):571-85. doi: 10.1002/hup.964.
29. Belenky G, Wesensten NJ, Thorne DR, Thomas ML, Sing HC, Redmond DP i sur. Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: a sleep dose-response study. *J Sleep Res*. 2003 Mar;12(1):1-12. doi: 10.1046/j.1365-2869.2003.00337.x.
30. Goel N, Rao H, Durmer JS, Dinges DF. Neurocognitive consequences of sleep deprivation. *Semin Neurol*. 2009 Sep;29(4):320-39. doi: 10.1055/s-0029-1237117.
31. Blume C, Garbazza C, Spitschan M. Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood. *Somnologie (Berl)*. 2019 Sep;23(3):147-156. doi: 10.1007/s11818-019-00215-x.
32. Brown TM, Brainard GC, Cajochen C, Czeisler CA, Hanifin JP, Lockley SW i sur. Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLoS Biol*. 2022 Mar 17;20(3):e3001571. doi: 10.1371/journal.pbio.3001571.



ADRESA ZA DOPISIVANJE:

dr. sc. Damir Mulc, dr. med.
 Klinika za psihijatriju Vrapče
 Bolnička cesta 32, 10 090 Zagreb
 e-mail: damir.mulc@bolnica-vrapce.hr

PRIMLJENO/RECEIVED:

31. ožujka 2026./March 31, 2026

PRIHVAĆENO/ACCEPTED:

21. travnja 2026./April 21, 2026

