



Svetlo, cirkadiánne rytmy a zdravie dieťaťa: význam pre pediatrickú prax

Prof. MUDr. Ľudmila Podracká, CSc.¹, MUDr. Zuzana Prepiaková, PhD.², MUDr. Beáta Bušányová, PhD., MBA²

¹Detská klinika LF UK a NÚDCH, Bratislava

²Klinika detskej oftalmológie LF UK a NÚDCH, Bratislava

Svetlo predstavuje významný environmentálny faktor, ktorý prostredníctvom cirkadiánneho systému ovplyvňuje spánok, metabolizmus, psychické zdravie aj vývoj oka. V detskom veku majú tieto mechanizmy osobitný význam vzhľadom na prebiehajúci rast, neurovývin a dozrievanie regulačných systémov organizmu. Kľúčovú úlohu pri sprostredkovaní nevrakových účinkov svetla zohrávajú vnútorné fotosenzitívne gangliové bunky sietnice obsahujúce melanopsín, ktoré prenášajú informácie o intenzite a spektrálnom zložení svetla do centrálnych biologických hodín. Nedostatočná denná expozícia prirodzenému svetlu, pobyt v interiéri s nízkou intenzitou osvetlenia a večerné používanie digitálnych zariadení môžu prispievať k cirkadiánnej desynchronizácii, zhoršeniu kvality spánku a následným metabolickým, neurokognitívnym a psychickým dôsledkom. Významný je aj vzťah medzi pobytom vo vonkajšom prostredí a prevenciou myopie, hoci mechanizmy ochranného účinku denného svetla zostávajú predmetom výskumu. Prehľadový článok sumarizuje súčasné poznatky o biologických účinkoch svetla v detskom veku, hodnotí silu dostupných dôkazov a poukazuje na ich praktický význam pre pediatra v každodennej praxi. Osobitná pozornosť je venovaná svetelnému a spánkovému režimu ako súčasť preventívnej anamnézy u detí s poruchami spánku, dennou únavou, poruchami pozornosti, obezitou, psychickými ťažkosťami alebo progresiou myopie v ambulantnej praxi. Článok zdôrazňuje význam primeranej dennej expozície prirodzenému svetlu, pravidelného spánkového režimu a obmedzenia večerného používania digitálnych technológií ako jednoduchých nefarmakologických opatrení podporujúcich zdravie detí a adolescentov.

Kľúčové slová: svetlo, cirkadiánne rytmy, melatonin, spánok, myopia, digitálne technológie

Light, circadian rhythms, and health of children – practical relevance for pediatric practice

Light is an important environmental factor that regulates sleep, metabolism, mental health, and ocular development through the circadian system. These mechanisms are particularly relevant during childhood and adolescence, when growth, neurodevelopment, and physiological regulatory systems are still developing. A key role in mediating the non-visual effects of light is played by intrinsically photosensitive retinal ganglion cells containing melanopsin, which transmit information about light intensity and spectral composition to the central biological clock. Insufficient daytime exposure to natural light, prolonged indoor stay under low-intensity illumination, and evening use of digital devices may contribute to circadian desynchronization, impaired sleep quality, and subsequent metabolic, neurocognitive, and psychological consequences. Daylight exposure is also closely associated with the prevention of myopia, although the mechanisms underlying this protective effect remain under investigation. This review summarizes current knowledge on the biological effects of light in childhood, evaluates the strength of available evidence, and highlights its practical relevance for pediatric practice. Particular attention is given to light and sleep habits as part of preventive history taking in children with sleep problems, daytime fatigue, attention difficulties, obesity, mental health symptoms, or progression of myopia. The article emphasizes adequate daytime exposure to natural light, a regular sleep schedule, and limiting evening exposure to digital technologies as simple non-pharmacological measures that may support the health and well-being of children and adolescents.

Key words: light, circadian rhythms, melatonin, sleep, myopia, digital technologies

Pediatr. prax, 2026;27(3):106-110

ÚVOD

Svetelný režim ako súčasť pediatrickej prevencie

Svetlo bolo v medicíne tradične chápané predovšetkým ako nevyhnutná podmienka zrakového vnímania. V ostatných dvoch desaťročiach však poznatky chronobiológie ukázali, že jeho biologický význam ďaleko presahuje vizuálne funkcie. Svetlo predstavuje jeden z najvýznamnejších environmentálnych regulátorov cirkadiánnych rytmov a prostredníctvom synchronizácie vnútorných biologických hodín ovplyvňuje spánok, bdelosť, hormonálnu reguláciu, metabolizmus, imunitné funkcie, psychické zdravie aj vývoj oka (1–3). V detskom a adolescentnom veku majú tieto mechanizmy osobitný význam vzhľadom na prebiehajúci rast, neurovývin a dozrievanie fyziologických regulačných systémov.

Moderné svetelné prostredie, v ktorom dnešné deti vyrastajú, sa pritom zásadne odlišuje od podmienok, na aké je ľudský cirkadiánny systém prirodzene nastavený. Významná časť dňa

prebieha v interiéri s nízkou intenzitou osvetlenia, zatiaľ čo vo večerných hodinách narastá expozícia krátkovlnnému (modrému) svetlu emitovanému displejmi digitálnych zariadení a LED osvetlením. Po západe slnka je zastúpenie krátkovlnnej modrej zložky prirodzeného svetla výrazne nižšie ako počas dňa, preto môže večerná expozícia umelému modrému svetlu narúšať fyziologickú synchronizáciu cirkadiánnych rytmov (1). Dôsledkom môžu byť poruchy spánku, zmeny metabolickej regulácie, nepriaznivý vplyv na psychické zdravie a pravdepodobne aj zvýšené riziko rozvoja myopie (4, 5).

Narastajúci počet dôkazov naznačuje, že svetelný režim patrí medzi modifikovateľné faktory životného štýlu, ktorému by pediatri mali venovať podobnú pozornosť ako výžive, pohybovej aktivite či spánkovej hygiene. Cieľom tohto prehľadového článku je zhrnúť súčasné poznatky o biologických účinkoch svetla v detskom veku, kriticky zhodnotiť úroveň dostupných dôkazov a poukázať na ich praktický význam pre pediatrickú prax.



■ AKO ORGANIZMUS VNÍMA SVETLO

Základnou úlohou cirkadiálneho systému je zosúladiť fyziologické procesy organizmu s 24-hodinovým cyklom striedania svetla a tmy. Reguluje cyklus spánku a bdenia, telesnú teplotu, hormonálnu sekréciu, metabolizmus, imunitné funkcie aj ďalšie biologické procesy. Jeho hlavným koordinátorom sú suprachiasmatické jadrá hypotalamu, označované ako centrálné biologické hodiny (6).

Významným objavom ostatných dvoch desaťročí bola identifikácia intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs), teda vnútorne fotosenzitívnych gangliových buniek sietnice obsahujúcich fotopigment melanopsín. Na rozdiel od tyčiniek a čapíkov sa nepodieľajú na tvorbe zrakového obrazu, ale sprostredkujú biologické, tzv. nezrakové účinky svetla. Prostredníctvom retinohypotalamickej dráhy prenášajú informácie o intenzite a spektrálnom zložení svetla do suprachiasmatických jadier a ďalších štruktúr podieľajúcich sa na regulácii cirkadiálneho systému (2, 3).

Melanopsínové bunky vykazujú maximálnu citlivosť na krátkovlnné modré svetlo s vlnovou dĺžkou približne 480 nm. Denná expozícia tomuto spektru podporuje bdelosť, pozornosť a správnu synchronizáciu biologických hodín, zatiaľ čo večerná expozícia vedie k potlačeniu sekrécie melatonínu, posunu cirkadiálnej fázy a oneskoreniu nástupu spánku (3–5).

Biologický účinok svetla závisí nielen od jeho spektrálneho zloženia, ale aj od intenzity. Kým prirodzené denné svetlo dosahuje intenzitu niekoľko tisíc až desaťtisíc luxov, vnútorné osvetlenie sa spravidla pohybuje iba v stovkách luxov. Dieťa, ktoré trávi väčšinu dňa v interiéri, preto nemusí prijímať dostatočne silný denný synchronizačný signál, zatiaľ čo vo večerných hodinách je vystavené svetelným podnetom v biologicky nevhodnom čase.

Okrem centrálnych biologických hodín sa cirkadiálne oscilátory nachádzajú aj v pečeni, pankrease, tukovom tkanive, kostrovom svalstve, obličkách a bunkách imunitného systému. Ich vzájomná synchronizácia závisí nielen od svetla, ale aj od načasovania príjmu potravy, fyzickej aktivity a spánku. Dlhodobé narušenie koordinácie medzi centrálnymi a periférnymi hodinami vedie k cirkadiálnej desynchronizácii, ktorá sa spája so zvýšeným rizikom metabolických, kardiovaskulárnych a neurobehaviorálnych porúch (6, 7).

■ SVETLO, MELATONÍN A CIRKADIÁLNE RYTMY

Melatonín predstavuje hlavný hormonálny výstup cirkadiálneho systému a biologický marker noci. Jeho sekrécia stúpa po zotmení, vrcholí počas nočných hodín a klesá pred prebudením. Produkcia melatonínu je výrazne ovplyvňovaná svetlom, predovšetkým jeho krátkovlnnou (modrou) zložkou. Za fyziologických podmienok začína koncentrácia melatonínu stúpať približne dve hodiny pred obvyklým časom zaspávania (dim light melatonin onset, DLMO). Večerná expozícia krátkovlnnému svetlu tento proces potláča alebo oneskoruje.

Úlohou melatonínu nie je navodiť spánok v úzkom zmysle slova, ale signalizovať organizmu začiatok biologickej noci a koordinovať časovanie viacerých fyziologických procesov (3, 7). Okrem svojej chronobiologickej funkcie patrí medzi

významné endogénne antioxidanty a vykazuje antioxidačné, cytoprotektívne, protizápalové a imunomodulačné účinky.

Spánok zohráva v detskom veku kľúčovú úlohu v procese neurovývinu, konsolidácie pamäti, emočnej regulácie, obnovy energetických zásob a fyziologickej nočnej sekrécie rastového hormónu (7). Nedostatočný alebo nekvalitný spánok preto neovplyvňuje iba subjektívny pocit únavy, ale môže viesť aj k poruchám pozornosti, učenia, správania a psychickej pohody. U mladších detí sa spánková deprivácia často prejavuje hyperaktivitou, impulzivitou alebo podráždenosťou skôr než ospalosťou.

Večerná expozícia svetlu, najmä svetlu s vysokým podielom krátkovlnnej modrej zložky, vedie k potlačeniu sekrécie melatonínu, posunu cirkadiálnej fázy a oneskoreniu nástupu spánku. Následné narušenie hlbokých fáz spánku môže nepriaznivo ovplyvniť fyziologickú nočnú sekréciu rastového hormónu, neuroplasticitu mozgu a regeneračné procesy. Rozsah tohto účinku závisí od intenzity svetla, jeho spektrálneho zloženia, trvania expozície, vzdialenosti zdroja svetla od oka aj individuálnej citlivosti dieťaťa.

Potreba spánku sa v priebehu detstva mení. Predškolské deti spravidla potrebujú 10 – 13 hodín spánku denne, školské deti 9 – 12 hodín a adolescenti 8 – 10 hodín (7). Pri hodnotení spánku však nie je rozhodujúca iba jeho dĺžka, ale aj pravidelnosť režimu, čas zaspávania a kvalita spánku. Výrazné rozdiely medzi pracovnými dňami a víkendmi môžu poukazovať na chronický spánkový deficit.

Adolescencia predstavuje špecifické obdobie charakterizované fyziologickým posunom chronotypu smerom k neskorším hodinám zaspávania. V kombinácii so skorým začiatkom vyučovania vzniká nesúlad medzi biologickými a spoločenskými požiadavkami, označovaný ako *social jet lag*. Tento fenomén sa spája s chronickou spánkovou depriváciou, dennou únavou, zhoršenou školskou výkonnosťou a zvýšeným rizikom metabolických aj psychických porúch.

■ DÔSLEDKY CIRKADIÁLNEJ DYSREGULÁCIE PRE ZDRAVIE DIEŤAŤA

■ Digitálne technológie a cirkadiálne zdravie

Večerné používanie digitálnych zariadení môže nepriaznivo ovplyvňovať spánok a cirkadiálnu synchronizáciu prostredníctvom viacerých mechanizmov – expozície krátkovlnnému svetlu, kognitívnej a emočnej stimulácie, ako aj odkladania času zaspávania (5, 8). Konzistentné výsledky observačných štúdií preukázali súvislosť medzi večerným používaním smartfónov, tabletov alebo počítačov a kratším trvaním spánku, predĺženou spánkovou latenciou, nižšou kvalitou spánku a zvýšenou dennou ospalosťou (8, 11, 12). Riziko je obzvlášť výrazné v období adolescencie, keď sa fyziologický posun chronotypu kombinuje s intenzívnym používaním digitálnych médií.

Prítomnosť digitálnych zariadení v spálni predstavuje nezávislý rizikový faktor porúch spánku. Okrem samotnej expozície svetlu zohrávajú významnú úlohu nočné notifikácie, sociálna interakcia a očakávanie nepretržitej dostupnosti, ktoré prispievajú k fragmentácii spánku a rozvoju chronického spánkového deficitu. Používanie smartfónov pred spaním

Obrázok 1. Úloha cirkadiálneho systému v regulácii metabolickej homeostázy


sa spája aj so zvýšeným výskytom porúch pozornosti, dennej únavy a psychických ťažkostí u adolescentov (12, 13).

Filtre redukujúce emisiu krátkovlnného svetla alebo nočné režimy obrazoviek môžu čiastočne zmierniť biologický účinok večernej expozície svetlu. Neovplyvňujú však kognitívnu stimuláciu ani behaviorálne mechanizmy vedúce k odkladaniu spánku. Súčasné odporúčania preto zdôrazňujú predovšetkým obmedzenie používania digitálnych zariadení počas 60 – 120 minút pred plánovaným zaspávaním a podporu pravidelného spánkového režimu (11, 14).

Hoci asociácia medzi večerným používaním digitálnych zariadení a poruchami spánku je konzistentná naprieč observačnými štúdiami, presný podiel jednotlivých mechanizmov – expozície svetlu, charakteru sledovaného obsahu a behaviorálnych návykov – na zhoršení spánku zatiaľ nie je jednoznačne stanovený.

Zdravotné dôsledky cirkadiánnej dysregulácie

Cirkadiánný systém zohráva významnú úlohu v regulácii metabolickej homeostázy (obrázok 1). Citlivosť na inzulín, metabolizmus glukózy, energetický výdaj, sekrecia leptínu a grelínu, ako aj načasovanie príjmu potravy podliehajú výraznej dennej rytmicite. Narušenie cirkadiánnej synchronizácie môže podporovať rozvoj nadváhy, obezity a inzulínovej rezistencie (6, 7, 15).

Krátke trvanie spánku je u detí a adolescentov opakovane spájané so zvýšeným rizikom obezity. Predpokladanými mechanizmami sú pokles koncentrácie leptínu, zvýšená sekrecia grelínu, zmeny regulácie apetítu, preferencia ener-

geticky bohatých potravín a zníženie fyzickej aktivity v dôsledku únavy. K ďalšej metabolickej desynchronizácii môže prispievať aj nevhodné načasovanie príjmu potravy, najmä večerné a nočné jedenie (15, 16).

Rastúci počet dôkazov poukazuje na úzku súvislosť medzi cirkadiánnou reguláciou a neurokognitívnymi funkciami. Nedostatok spánku negatívne ovplyvňuje pozornosť, pracovnú pamäť, exekutívne funkcie aj školskú výkonnosť. U mladších detí môže spánková deprivácia imitovať alebo potencovať symptómy ADHD vrátane hyperaktivity, impulzivitu a porúch koncentrácie (17).

Chronický spánkový deficit a cirkadiánnu desynchronizáciu sa spájajú aj so zvýšeným výskytom úzkostných porúch, depresívnych symptómov, emočnej dysregulácie a zníženou kvalitou života. V období adolescence zohráva významnú úlohu už spomínaný *social jet lag*, asociovaný s vyšším rizikom dennej ospalosti, depresívnych symptómov, obezity a zhoršenej školskej výkonnosti (18, 19).

Z klinického pohľadu predstavujú svetelný režim, spánkové návyky a načasovanie používania digitálnych technológií významné modifikovateľné faktory životného štýlu. Ich optimalizácia patrí medzi bezpečné nefarmakologické intervencie, ktoré môžu priaznivo ovplyvniť spánok, metabolické zdravie, psychickú pohodu aj každodenné fungovanie dieťaťa.

Denné svetlo a myopia: presah medzi pediatriou a oftalmológiou

Myopia predstavuje jeden z najvýznamnejších zdravotných problémov detského a adolescentného veku. Jej prevalencia

Tabuľka 1. Kedy myslieť na poruchu svetelného a cirkadiálneho režimu?

Rizikové situácie
- Poruchy zaspávania alebo nadmerná denná ospalosť - Chronická únava - Poruchy pozornosti alebo zhoršenie školského prospechu - ADHD symptomatológia - Obezita alebo nadváha - Úzkostné alebo depresívne symptómy - Progresia myopie
Cielené anamnestické otázky
- V akom čase dieťa zvyčajne zaspáva a vstáva? - Je rozdiel medzi pracovnými dňami a víkendmi? - Používa digitálne zariadenia bezprostredne po prebudení alebo pred spaním? - Koľko času denne trávi pri obrazovkách? (obrázok 2) - Má mobilný telefón alebo iné digitálne zariadenia v spálni? - Koľko času denne trávi vo vonkajšom prostredí?

v ostatných desaťročiach celosvetovo narastá a vysoký stupeň myopie je spojený so zvýšeným rizikom závažných očných komplikácií vrátane myopickej makulopatie, odlúčenia sietnice, glaukómu a katarakty (9). Hoci genetická predispozícia zohráva významnú úlohu, dynamický nárast prevalence myopie počas jednej až dvoch generácií poukazuje na význam environmentálnych faktorov.

Medzi najvýznamnejšie modifikovateľné rizikové faktory patria intenzívna práca na blízko, vysoké vzdelávacie zaťaženie, zmeny vizuálneho správania súvisiace s digitalizáciou detstva a najmä nedostatočná expozícia prirodzenému dennému svetlu. Pravidelný pobyt vo vonkajšom prostredí patrí medzi najlepšie zdokumentované preventívne opatrenia proti vzniku myopie (9, 10). Jeho protektívny účinok nemožno vysvetliť iba skrátením času venovaného čítaniu alebo používaniu digitálnych zariadení.

Predpokladá sa, že ochranný účinok denného svetla je multifaktoriálny a súvisí s vyššou intenzitou osvetlenia, odlišným spektrálnym zložením prirodzeného svetla, stimu-

Tabuľka 2. Praktické odporúčania pre pediatrickú prax

- Podporovať každodenný pobyt vo vonkajšom prostredí
- Odporúčať pravidelný čas zaspávania a vstávania aj počas víkendov
- Obmedziť používanie digitálnych zariadení 1 – 2 hodiny pred spaním
- Ak nie je možné večerné používanie obrazoviek úplne vynechať, odporučiť aktiváciu nočného režimu alebo filtrov redukujúcich krátkovlnnú zložku svetla
- Zaradiť hodnotenie svetelného a spánkového režimu medzi štandardné anamnestické údaje u detí s poruchami spánku, dennou únavou, poruchami pozornosti alebo progresiou myopie

láciou uvoľňovania dopamínu v sietnici a nižším akomodačným zaťažením pri pohľade do diaľky. Experimentálne práce naznačujú aj možný význam červeného a infračerveného spektra pre mitochondriálne funkcie, klinické dôkazy podporujúce tento mechanizmus u detí sú však zatiaľ limitované.

Napriek pokračujúcemu výskumu zostáva zvýšená expozícia prirodzenému dennému svetlu jedinou populačnou intervenciou s konzistentne preukázaným preventívnym účinkom proti vzniku myopie (10). Mechanizmy, ktorými denné svetlo tento ochranný účinok sprostredkúva, zostávajú predmetom ďalšieho výskumu.

Z pohľadu pediatickej praxe má uvedená problematika význam predovšetkým v oblasti primárnej prevencie. Pediatier môže identifikovať deti so zvýšeným rizikom vzniku alebo progresie myopie, najmä pri pozitívnej rodinnej anamnéze, vysokej záťaži prácou na blízko alebo nízkej expozícii prirodzenému dennému svetlu. V týchto prípadoch je vhodné podporovať pravidelný pobyt vo vonkajšom prostredí a zabezpečiť včasné oftalmologické vyšetrenie a následné sledovanie. U detí s už diagnostikovanou myopiou nemožno pobyt vonku považovať za alternatívu optickej korekcie alebo špecifických stratégií kontroly progresie myopie, ale za dôležitú súčasť komplexných režimových opatrení dopĺňajúcich štandardný oftalmologický manažment (9, 10).

Obrázok 2. Odporúčanie času stráveného pred obrazovkou podľa veku

Batoľa 0-18 mesiacov	Deti 18-24 mesiacov	Deti 2-5 rokov	Deti a nástroční 6-17 rokov	Dospelí 18 rokov +
ŽIADEN Žiaden, okrem videohovoru s dospelými.	0-1 HODINA Menej než jedna hodina spoločného sledovania vzdelávacích programov s rodičom.	≤ 1 HODINA Jedna hodina alebo menej každý pracovný deň a do troch hodín počas víkendových dní.	≤ 2 HODINY Zamerať sa na dve hodiny alebo menej rekreačného používania obrazovky cez pracovný deň. Dôraz na udržanie zdravých limitov a zameranie sa na iné dôležité aktivity, ako je fyzická aktivita a spánok.	2-4 HODINY Držte sa dvoch až štyroch hodín rekreačného používania obrazovky cez pracovný deň. Často si dávajte prestávky a nastavte si čas bez používania obrazovky.



KLINICKÉ IMPLIKÁCIE PRE PEDIATRA

Svetelný a spánkový režim predstavujú významné modifikovateľné faktory zdravia dieťaťa, ktorým by pediater mal venovať pozornosť pri preventívnych prehliadkach aj pri diagnostike vybraných klinických stavov. Hodnotenie cirkadiánných návykov je vhodné zaradiť do anamnézy najmä u detí s poruchami spánku, dennou únavou, poruchami pozornosti, ADHD symptomatikou, obezitou, úzkostnými alebo depresívnymi symptómami a pri progresii myopie.

Osobitnú pozornosť si zasluhuje *social jet lag* ako častý fenomén v adolescencii, ktorý môže prispievať k chronickej spánkovej deprivácii, zhoršeniu školskej výkonnosti, psychickej pohody aj metabolického zdravia. Optimalizácia svetelného a spánkového režimu preto predstavuje významnú podpornú nefarmakologickú intervenciu, nenahrádza však štandardné diagnostické a terapeutické postupy.

ZÁVER

Svetlo patrí medzi kľúčové environmentálne faktory ovplyvňujúce prostredníctvom cirkadiálneho systému kvalitu spánku, metabolické zdravie, psychickú pohodu aj vývoj oka. V období detstva a adolescencie predstavuje svetelný režim významný modifikovateľný faktor zdravia. Podpora primeranej dennej expozície prirodzenému svetlu, pravidelného spánkového režimu a obmedzenie večernej expozície

digitálnym technológiám predstavujú jednoduché, bezpečné a ekonomicky nenáročné nefarmakologické opatrenia, ktoré môže pediater zaradiť medzi základné preventívne odporúčania popri zdravej výžive, primeranej pohybovej aktivite a spánkovej hygiene.

Napriek výraznému pokroku v poznaní chronobiológie ostávajú otvorené viaceré otázky. Kým priaznivý význam dennej expozície prirodzenému svetlu pre synchronizáciu cirkadiánných rytmov, kvalitu spánku a prevenciu myopie podporujú kvalitné klinické dôkazy, účinnosť niektorých ďalších intervencií, ako sú filtre modrého svetla alebo úpravy spektrálneho zloženia umelého osvetlenia, si vyžaduje ďalšie klinické štúdie, najmä v pediatrickej populácii. Pri interpretácii dostupných poznatkov je preto potrebné rozlišovať medzi odporúčaniami podloženými kvalitnými klinickými dôkazmi a intervenciami, ktorých prínos zostáva zatiaľ pravdepodobný, avšak nie jednoznačne potvrdený.

Konflikt záujmov: Autorka ani spoluautorky nedeklarujú konflikt záujmov.

Prof. MUDr. Ľudmila Podracká, CSc.

Detská klinika LF UK a NÚDCH

Limbová 1, 833 40 Bratislava

ludmila.podracka@fmed.uniba.sk

Literatúra

1. Prepiaková Z, Bušányová B, Kostolná B, et al. Svetlo, zrak a cirkadiánný rytmus. *Oftalmológia pre prax*. 2024;1:33-40.
2. Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, et al. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci*. 2001;21(16):6405-6412.
3. Hattar S, Liao HW, Takao M, et al. Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science*. 2002;295(5557):1065-1070.
4. Bailes HJ, Lucas RJ. Melanopsin and inner retinal photoreception. *Cell Mol Life Sci*. 2010;67(1):99-111.
5. Lunn RM, Blask DE, Coogan AN, et al. Health consequences of electric lighting practices in the modern world. *Sci Total Environ*. 2017;607-608:1073-1084.
6. Hastings MH, Reddy AB, Maywood ES. A clockwork web: circadian timing in brain and periphery, in health and disease. *Nat Rev Neurosci*. 2003;4(8):649-661.
7. Owens JA, Weiss MR, Insana SP, et al. Pediatric sleep: current knowledge, gaps, and opportunities for the future. *Sleep*. 2023;46(7):zsad060.
8. Parent J, Sanders W, Forehand R. Youth screen time and behavioral health problems: the role of sleep duration and disturbances. *J Dev Behav Pediatr*. 2016;37(4):277-284.
9. Németh J, Tapasztó B, Aclimandos WA, et al. Update and guidance on management of myopia. *Eur J Ophthalmol*. 2021;31(3):853-883.
10. Xiong S, Sankaridurg P, Naduvilath T, et al. Time spent in outdoor activities in relation to myopia prevention and control: a systematic review and meta-analysis. *Acta Ophthalmol*. 2017;95(6):551-566.
11. Gomes K, Goldman RD. Screen time and sleep in children. *Can Fam Physician*. 2024 Jun;70(6):388-390.
12. Carter B, Rees P, Hale L, et al. Association between portable screen-based media device access or use and sleep outcomes: systematic review and meta-analysis. *JAMA Pediatr*. 2016;170:1202-1208.
13. Scott H, Biello SM, Woods HC. Social media use and adolescent sleep patterns. *Sleep Medicine Reviews*. 2019;45:1-10.
14. WHO. Guidelines on Physical Activity, Sedentary Behaviour and Sleep. Geneva: WHO; 2020.
15. St-Onge MP, Grandner MA, Brown D, et al. Sleep duration and quality: impact on lifestyle behaviors and cardiometabolic health. *Circulation*. 2016;134:e367-e386.
16. Spaeth AM, Hawley NL, Raynor HA, et al. Sleep, energy balance and obesity. *Sleep Med Clin*. 2020;15:145-152.
17. Becker SP, Gregory AM. Editorial perspective: Perils and promise for child and adolescent sleep and ADHD. *J Child Psychol Psychiatry*. 2020;61:757-759.
18. Touitou Y, Reinberg A, Touitou D. Association between light at night, melatonin secretion, sleep deprivation and social jetlag. *Chronobiol Int*. 2017;34:1085-1103.
19. Matricciani L, Bin YS, Lallukka T, et al. Past, present, and future: trends in sleep duration and implications for youth health. *Sleep Health*. 2023;9:12-20.