

Univerzita Karlova
Pedagogická fakulta
Katedra pedagogiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Optimalizace spánku a cirkadiánních rytmů
Optimization of circadian rhythms and sleep patterns

Tereza Zídková

Vedoucí práce: RNDr. Edvard Ehler, Ph.D.
Studijní program: Bakalářský
Studijní obor: Biologie, geologie a environmentalistika se zaměřením na
vzdělávání – výchova ke zdraví se zaměřením na vzdělávání

Odevzdáním této bakalářské práce na téma *Optimalizace spánku a cirkadiánních rytmů* potvrzuji, že jsem ji vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze, 14.4.2024

Ráda bych touto cestou poděkovala mému vedoucímu práce RNDr. Edvardu Ehlerovi, Ph.D. za vedení, rady a zpětnou vazbu k mé bakalářské práci. Dále děkuji své rodině a přátelům, kteří mi v mých útrapách byli vždy nápomocni.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce shrnuje metodou rešerše dosavadní vědecké poznatky o souvislostech mezi cirkadiánními rytmy, spánkem a světlem a rozebírá jejich vzájemné působení ovlivňující zdraví organismů, ale především lidské společnosti. Spánek patří k nejstěžejnější determinantě obecného zdraví a právě působení přirozeného či umělého světla ho dokáže na jedné straně účinně optimalizovat, na druhé desynchronizovat v celkový neprospěch fungování organismu. Člověk dnešní doby je vystavován umělému osvětlení ve zvýšené míře, protože většinu času tráví v uzavřených budovách a na globální úrovni tak probíhá deficiencie přirozeného svitu. S tím se pojí četné problémy počínaje poruchami biologických rytmů přes mnohá další civilizační onemocnění. Shrnutím této problematiky jsou některá doporučení k optimalizaci a personalizaci jak umělého, tak přirozeného slunečního světla v rámci zlepšení spánku jako signifikantního biologického markeru pro co možná nejlepší zdraví.

KLÍČOVÁ SLOVA

Spánek, cirkadiánní rytmus, přirozené a umělé světlo, optimalizace spánkového režimu

ABSTRACT

This bachelor thesis summarizes current scientific knowledge on the relationships between circadian rhythms, sleep, and light, and analyzes their mutual interactions influencing the health of organisms, particularly human society. Sleep is among the most crucial determinants of overall health, and the influence of natural or artificial light can effectively optimize it on one hand, but desynchronize it to the detriment of overall organism functioning on the other. Modern humans are increasingly exposed to artificial lighting due to spending the majority of their time indoors, leading to a deficiency in natural light globally. This is associated with numerous problems ranging from disruptions in biological rhythms to various other civilization-related illnesses. In summarizing this issue, some recommendations are made for optimizing and personalizing both artificial and natural sunlight to improve sleep, which is a significant biological marker for optimal health.

KEYWORDS

Sleep, circadian rhythm, sunlight and artificial light, sleep optimization

Obsah

ÚVOD.....	2
1 BIOLOGIE SPÁNKU A CIRKADIÁNNÍCH RYTMŮ	3
2.1 DEFINICE, FYZIOLOGIE A FUNKCE SPÁNKU	4
2.1.1 <i>Architektura spánku</i>	6
2.1.2 <i>Bdělost</i>	7
2.1.3 <i>N1 fáze – lehký spánek</i>	7
2.1.4 <i>N2 fáze – hlubší spánek</i>	7
2.1.5 <i>N3 fáze</i>	8
2.1.6 <i>REM fáze</i>	8
2.2 FUNKCE SPÁNKU.....	9
2.3 CHRONOBIOLOGIE - DEFINICE, FYZIOLOGIE A FUNKCE CIRKADIÁNNÍCH RYTMŮ	11
2.4 VLIV HORMONŮ NA SPÁNKOVÝ CYKLUS	15
2.4.1 <i>Melatonin</i>	15
2.4.2 <i>Kortizol (kortizon, hydrokortizon)</i>	18
2.5 CHRONOTYPY	19
3 FUNKCE SVĚTLA U SPÁNKU A CIRKADIÁNNÍCH RYTMŮ.....	21
3.1 DEFINICE PŘIROZENÉHO A UMĚLÉHO SVĚTLA	22
3.1.1 <i>Denní světlo</i>	22
3.1.1 <i>Umělé světlo</i>	23
3.2 SVĚTELNÉ ZNEČIŠTĚNÍ.....	26
4 VLIV SVĚTLA NA SPÁNEK A CIRKADIÁNNÍ RYTMY	30
5 OPTIMALIZACE A PERSONALIZACE OSVĚTLENÍ PRO ZLEPŠENÍ SPÁNKOVÉHO REŽIMU	34
5.1 DOPORUČENÍ K OPTIMALIZACI OSVĚTLENÍ PRO ZLEPŠENÍ SPÁNKU A CIRKADIÁNNÍCH RYTMŮ	35
5.1.1 <i>Vystavení se přirozenému světlu co nejdříve po probuzení</i>	37
5.1.2 <i>Denní osvětlení v interiérech (kanceláře, školy, pečovatelské domy,...)</i>	38
5.1.3 <i>Světlo ve večerních hodinách (domácnosti a další vnitřní prostředí)</i>	38
5.1.4 <i>Světlo v době spánku</i>	39
ZÁVĚR.....	40
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	42

SEZNAM PŘÍLOH	56
---------------------	----

Úvod

Otázka správné spánkové hygieny a biologických rytmů nabývá v současnosti na důležitosti z hlediska celkového lidského zdraví. Lidé si totiž v posledních desetiletích od základu přetvořili své přirozené světelné prostředí, které dříve vycházelo z pravidelných cyklů východu a západu slunce. Dnes již žijeme v prostředí prakticky permanentně osvětleném, jen s minimálními regulacemi v užívání světla. Tato zásadní změna, odehrávající se v lidské historii posledních 150 let, sice přinesla nespočet nových možností a podpořila pokrok civilizace, nicméně se sebou začíná přinášet i negativní důsledky. Ukázalo se totiž, že neadekvátní používání světla a souvisejících technologií narušuje naše zdraví, pohodu a kvalitu života. Tyto světelné změny bohužel dopadají i na volně žijící živočichy a rostliny, u kterých jsme doposud problematice využívání světla v přírodě a městských oblastech nevěnovali dostatečnou pozornost. Problematika rytmu spánku a bdění, stejně jako cirkadiálních rytmů, které jsou primárně ovlivňovány světelnými podněty, se v posledních letech stává významným biologickým a psychosociálním tématem. Obavy týkající se umělého nočního osvětlení a jeho dopadu na načasování biologických procesů nejsou ničím novým, avšak teprve v relativně nedávné době bylo mnoho těchto účinků empiricky potvrzeno a staly se více zjevnými (Gaston et al., 2017). Je proto zřejmé, že většina dopadů umělého nočního osvětlení pramení právě z jeho vlivů na biologické rytmy organismů. Fyziologické důsledky jsou dobře známé u některých skupin živých organismů, zejména savců, a víme, že tzv. chronodisrupce může být příčinou řady onemocnění. Tato práce se formou rešerše snaží v souhrnu představit a zdůraznit propojenost biologických, fyzikálních a fyziologických systémů, které jsou primárně řízeny světelnými signály. Cílem je především shrnutí problematiky spánku s kritériem světla a osvětlení. Dalším úkolem je popsat dopady slunečního záření a umělého osvětlení na průběh a rytmus spánku, neboť v současnosti převládá názor, že modré světlo působí na lidskou fyziologii především negativně. Tato práce si neklade za cíl zcela obsáhnout a pochopit veškeré biologické a molekulární procesy spánku probíhající v organismu. Stejně tak nemůže pojmut všechny aspekty vnitřního a vnějšího prostředí, které mohou tyto procesy ovlivňovat. Jejím hlavním záměrem je však toto téma zviditelnit a apelovat na jeho důležitost v rámci celkového zdraví lidské společnosti, ale i živočichů obývajících prostředí v blízkosti našich domovů.

1 Biologie spánku a cirkadiálních rytmů

Spánkem a aktivitou s ním spojenou strávíme zhruba třetinu svého života. Z pohledu evoluce byl ovšem spánek velmi rizikovou záležitostí, neboť v tuto dobu jsou sensorické vjemy utlumeny a my nereagujeme. Stáváme se tak zranitelnými vůči predátorům. Proč je tedy spánek tak důležitou aktivitou či stavem, který je z hlediska biologie snad nejvíce životně důležitým pro naše fungování a přežití?

Spánek se stal předmětem vědeckého výzkumu až v druhé polovině 19. století. Vzhledem k tomu, že spánek, na rozdíl od jiných fyziologických funkcí, nelze připsat konkrétnímu orgánu, neexistoval do té doby žádný zřetelný způsob, jak spánek zkoumat a studovat. S rozvojem fyziologie a psychologie a rychle se rozvíjejícími znalostmi o struktuře a funkci nervového systému, se postupně začaly rozvíjet nové přístupy k objektivnímu studiu. Vědci začali zkoumat reakce spících lidí na vnější podněty, což jim umožnilo lépe porozumět průběhu spánku.

Ve 30. letech 20. století se stala klíčovou metodou elektroencefalografie, která umožnila pozorovat aktivitu mozku během spánku. Kromě toho se výzkumníci začali zajímat o lidi s poruchami spánkového cyklu a ty, kteří mají spánku nedostatek. Tato bádání nakonec vedla k identifikaci oblastí mozku spojených se spánkem a bděním. (Dement, 2005)

Teprve v 50. letech 20. století byla identifikována fáze spánku s rychlými pohyby očí (REM) a spánek se stal samostatným výzkumným oborem. Postupem času se výzkum spánku začal prolínat s chronobiologií, a v nedávné době nové metody v genetickém výzkumu a zobrazování mozku posunuly poznání o spánku, snech a poruchách opět velkými kroky vpřed. (Dement, 2005)

2.1 Definice, fyziologie a funkce spánku

Spánkem se rozumí fyziologická aktivita, která je v nejrůznějších obměnách společná všem živým organismům – lidem, hmyzu, ptákům, obojživelníkům, savcům a týká se i jednoduchých organismů včetně medúz a ploštěnek (Aulsebrook et al., 2018). Jedná se o aktivní proces organismu, který je podstatně ovlivněn homeostatickými vlivy, jež se během bdělého stavu hromadí a při spánku se opět rozptylují.

Spánek charakteristickou strukturu, která se projevuje střídáním fází NREM a REM a přechody mezi stavem bdění a spánku, které jsou řízeny určitou mozkovou sítí. Stav spánku a bdění je dále charakterizován specifickými hormonálními změnami, které mohou významně ovlivňovat metabolismus a rovnováhu glukózy v těle. (Carley and Farabi, 2016)

Dosud stále přesně nerozumíme otázce, proč spánek existuje a proč tento biologický fenomén přirozeně prožíváme. Spánek má opravdu multifaktoriální povahu a je jistě správné uvažovat nad ním jako o nejdůležitějším ději probíhajícím napříč všemi organismy.

Široce přijímaná, avšak zjednodušená definice spánku je ta, že se jedná o přirozený stav organismu charakterizovaný absencí vědomé motorické aktivity, sníženou reakcí na podněty a stereotypní polohou (Fuller et al., 2006). Spánek je snadno rozeznatelný od jiných stavů změněného vědomí, jako je např. kóma nebo anestezie tím, že je snadno reverzibilní a samoregulující. Subkortikální oblast, která předává sensorické informace do mozkové kůry v bdělém stavu, pozmění svou funkci během usínání a spánku tak, že ztrácíme vědomí. Tento změněný stav se také projevuje v záznamech elektrické aktivity mozku, kde můžeme pozorovat specifické vzorce spánku označované jako spánkové fáze. Na rozdíl od rychlých frekvencí mozku, které jsou typické pro stav bdělosti, mozek ve spánku generuje naopak pomalé, vysokoamplitudové vlny s občasnými náhlými výbuchy vyšších frekvencí, tzv. spánkových vřeten. (Schönauer and Pölchen, 2018)

Spánková vřeténka jsou izolované výbuchy oscilační neuronální aktivity ve frekvenčním rozsahu mezi 11 až 16 Hz, pozorované během non-REM spánku. Za svůj název vděčí svému tvaru podobné vřetenu, který je charakterizován postupně narůstající a pak postupně klesající amplitudou. Jednotlivá událost tzv. výbuchu vřetena trvá asi 0,5 až 3 sekundy a je zřetelně viditelná v záznamech EEG. Jsou tedy typickým rysem pro non-REM spánek a určují začátek spánku. Začínají se vyskytovat ihned poté, když organismus přejde z počáteční fáze

bdělosti do prvních fází non-REM spánku. Od této chvíle jsou generovány asi každých 3-6 sekund. Vřeténka se vyskytují jak během lehkého non-REM, tak během fází hlubších pomalých vln mozku, které ještě spadají do cyklu non-REM spánku. (Schönauer and Pöhlchen, 2018)

Spící člověk nereaguje na okolní prostředí a neprobíhá zde kognitivní vnímání na bdělé vědomé úrovni. Jedná se o heterogenní funkční stav organismu s typickými rytmickými cykly, rozdělenými do různých stadií a přechodů, charakterizovaných specifickými formami chování, změnami elektrofyziologickými, vegetativními i hormonálními (Mourek, 2005). Spánek u člověka je obvykle doprovázen posturálním ležením, klidným chováním, zavřenýma očima a dalšími indikátory, které se se spánkem běžně pojí. Za některých situací se ale během spánku mohou objevit i neobvyklá chování, což může zahrnovat náměsíčnost (somnambulismus), mluvení ze spánku (somnilogie), skřípání zubů (bruxismus) a další fyzické aktivity. (Carskadon, 2005)

Fyziologie spánku zahrnuje vytváření a udržování stavů spánku a bdění, stejně jako měření a kvantifikaci těchto stavů. Jedná se o regulovaný proces ovlivňovaný homeostatickými a cirkadiánními faktory, s odlišnými hormonálními vzorci, které mohou ovlivnit metabolismus a homeostázu glukózy (Carley, 2016).

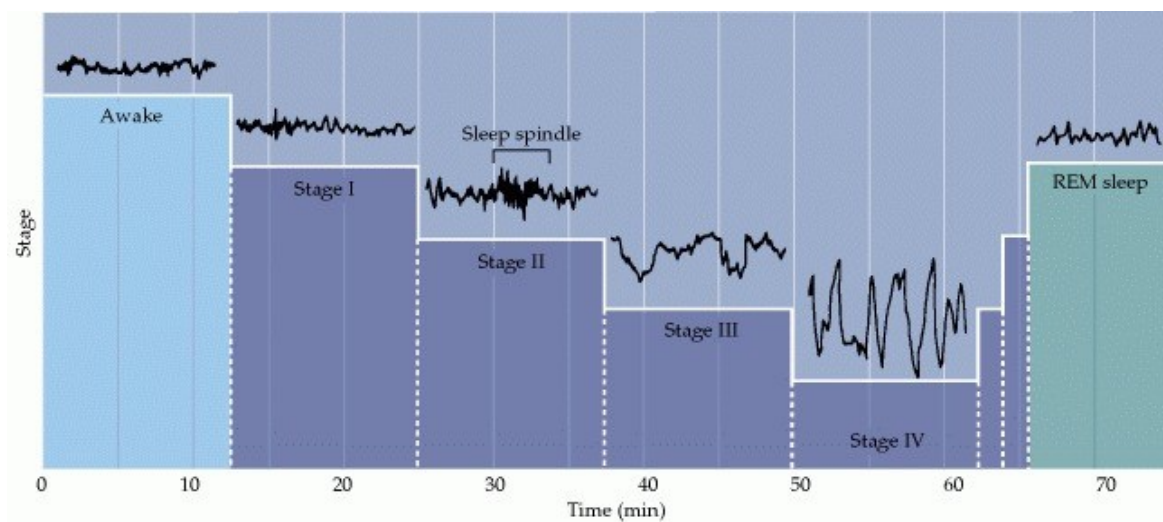
K porozumění spánku jako takového nám slouží spánkové laboratoře, např. české Centrum pro poruchy spánku a bdění spadající pod Neurologickou kliniku 1. LF v Praze. Spánková aktivita se zde zaznamenává nejsnadněji. V neurovědeckých studiích je nejčastějším přístupem k měření spánku záznam elektrické aktivity mozku, často elektroencefalogram (EEG). Tyto záznamy ukazují, že savci a ptáci mají dva hlavní stavy spánku: REM (rychlé pohyby očí) a nonREM spánek (Aulsebrook, 2018).

2.1.1 Architektura spánku

Spánek má typickou základní architekturu charakterizovanou rytmickým střídáním mezi fázemi REM a NREM a přechody mezi stavy spánku a bdění, které jsou řízeny dobře definovanou subkortikální sítí mozkových struktur. Během spánku probíhá několik spánkových cyklů, z nichž každý je tvořen dvěma fázemi, které jsou rozlišovány na základě EEG záznamu.

Mimo to, že je spánek kontrolován a řízen cirkadiánním rytmem, jeho fáze jsou naopak řízeny rytmy ultradiánními v 90-110minutových cyklech (Voss, 2004). Biologický rytmus se nazývá ultradiánní, pokud je jeho perioda kratší než 24 hodin. Ultradiánní rytmus byl pozorován ve fyziologických funkcích, jako jsou buněčné procesy, dýchání, krevní oběh, uvolňování hormonů, behaviorální funkce a právě fáze spánku. Ultradiánní rytmus je charakterizován rozmanitostí nejen délkou periody (od hodin po milisekundy), ale také mechanismy a funkcemi. Kromě homeostatických zpětnovazebních smyček na behaviorální úrovni bylo prokázáno několik nezávislých ultradiánních generátorů v CNS (Gerkena, 2002). U zdravých dospělých jedinců je ultradiánní cyklus spánku poměrně stabilní a cyklický. Typická noc spánku se skládá ze 4 až 5 spánkových cyklů, s postupným pokračováním fází spánku. Architektura spánku však není během noci cyklická a je dále variabilní na úrovni subjektů a jejich individuálně prožívané noci.

Následnost spánkových fází (non-REM 1-4; a REM spánek) v těchto cyklech se nazývá architektura spánku. Fáze spánku nicméně nelze vnímat jako oddělená stadia, ale spíše jako postupný přechod vlnového signálu. Spánek tedy probíhá v pěti fázích: bdění, N1, N2, N3 a REM. Fáze N1 až N3 obecně nazýváme jako non-REM spánek. Jedná se o pomalý, synchronizovaný spánek bez rychlých pohybů očí (což se vyskytuje naopak v REM fázi spánku) (Mourek, 2005). Každá fáze non-REM spánku postupně vede ke spánku hlubšímu. Přibližně 75% spánku je stráveno ve fázích NREM, přičemž většina času je strávena ve fázi N2. Začíná jako stav relaxovaného bdění (usínání), kdy je přítomen alfa mozkový rytmus. Tento rytmus postupně přechází do tzv. spánkových vřeten, které mají frekvenci 10-14 Hz a postupně se zvyšuje a pak opět klesá jejich amplituda. Tento proces pokračuje až do fáze pomalých a vysokých rytmů theta a delta, které charakterizují hluboké stádium spánku. Tuto fázi spánku obvykle neprovází sny (Jafari, 2017).



Obrázek č. 1 Záznam EEG během první hodiny spánku (Purves et al. 2001. Neuroscience, 2nd ed.)

2.1.2 Bdělost

První fáze spánku je bdělost nebo také fáze W, která závisí na tom, zda jsou oči zavřené nebo otevřené. Během bdění s otevřenýma očima převládají mozkové beta vlny. Dle záznamů z EEG jsou beta vlny nejvyšší frekvence s nejnižší amplitudou. Alfa vlny začínají převažovat až když jedinci usínají. (Patel et al., 2024)

2.1.3 N1 fáze – lehký spánek

Tato fáze je dle EEG definována theta vlnami. Jedná se o nejlehčí fázi spánku a začíná, když více než 50% alfa vln je nahrazeno nízkoamplitudovou smíšenou frekvencí aktivity. Svalový tonus je přítomen v kosterních svalech a dýchání probíhá pravidelně. Tato fáze trvá asi 1 až 5 minut a představuje 5% celkové doby spánku. (Patel et al., 2024)

2.1.4 N2 fáze – hlubší spánek

Tato fáze představuje již hlubší spánek, při němž klesá srdeční tep a tělesná teplota. Je charakterizována přítomností spánkových vřeten a K-komplexů. Spánková vřetena jsou krátké, silné záblesky neuronálního výboje v gyrech spánkového laloku a thalamu, které vyvolávají vstup vápníku do kortikálních pyramidových buněk.

Tento mechanismus je považován za nedílnou součást synaptické plasticity. Řada studií naznačuje, že spánková vřetena jsou nezbytná pro konsolidaci paměti, konkrétně procedurální a deklarativní paměť.

K-komplexy jsou dlouhé delta vlny trvající přibližně jednu sekundu a jsou známy jako nejdelší a nejvýraznější ze všech mozkových vln. K-komplexy slouží k udržování spánku a konsolidaci paměti. Fáze 2 trvá přibližně 25 minut v prvním cyklu a prodlužuje se s každým následujícím cyklem. Nakonec tvoří asi 45% celkové doby spánku. V této fázi spánku může docházet k bruxismu (skřípání zubů). (Patel et al., 2024)

2.1.5 N3 fáze

Tato fáze je také známá jako hluboký spánek s pomalými vlnami (SWS – short waves sleep). Jedná se o nejhlubší fázi spánku a je charakterizována signály s nižšími frekvencemi a vyššími amplitudami, nazývanými delta vlny. Tento spánek tvoří asi 25% z celkové doby spánku. V této fázi je nejtěžší se probudit, některé jedince nevzbudí ani hlasitý zvuk nad 100 decibelů. S vyšším věkem této fáze u lidí ubývá a přibývá spíše N2 fáze spánku. Kognitivní testy ukazují, že osoby probuzené během této fáze mají mírně narušený mentální výkon po dobu 30 minut až 1 hodiny. V této fázi spánku se tělo opravuje a obnovuje tkáň, buduje kosti a svaly a posiluje imunitní systém. V této fázi může docházet také k náměšičnosti, nočním můrám a únikům moči. (Patel et al., 2024)

2.1.6 REM fáze

Druhou fází spánku je takzvaná REM fáze neboli fáze rychlých pohybů očí (rapid eye movements). Začíná asi po 90 minutách v prvním spánkovém cyklu a trvá přibližně 20 minut. V průběhu noci se však podíl REM fáze ve spánkovém cyklu zvyšuje. Na elektroencefalogramu zaznamenáváme desynchronizaci ve formě rychlých a nízkých vln, podobných beta-rytmu, který je typický pro stav bdění. Svalový tonus se snižuje až do stavu svalové atonie, což znamená, že je těžké probudit se nebo otevřít oči, s výjimkou očních svalů, které mohou být občas aktivní. Srdeční frekvence a dýchání jsou nepravidelné. Během fáze REM spánku dochází ke snění. (Mourek, 2012)

Spánkový cyklus u dospělých lidí se střídá mezi REM a NREM spánkem přibližně každých 90 minut. Během REM spánku se objevují rychlé vlny, které fungují podobně jako během bdění. Pomalé vlny převažují během non-REM spánku, který tvoří 75–85% celkové doby spánku dospělého jedince, a hrají klíčovou roli při posilování paměti. Tyto vlny primárně zajišťují nekoordinované posílení jednotlivých složek paměti, které samy o sobě nevstupují do vědomí.

Spánek jistě můžeme považovat za přirozený změněný stav vědomí a nebo dočasnou fyziologickou ztrátu vědomí. Pro zachování tělesné a duševní svěžesti a také funkčnosti a výkonnosti našeho organismu je navíc zcela nezbytný (Orel, 2019). Zásadním zjištěním o fázi REM spánku a jeho hlavní funkci je skutečnost, že REM spánek je charakteristický pro suchozemské savce a také je možné ho pozorovat u ptáků. Dalším potvrzením sdíleného REM spánku u obou těchto skupin obratlovců přichází z pozorování, že jak savci, tak ptáci mají vyvinuté mechanismy udržování stabilní tělesné teploty prostřednictvím produkce tepla z metabolismu (tzv. endotermie) a že obě skupiny během REM spánku pozastavují regulaci tělesné teploty. Někteří vědci se domnívají, že funkce REM spánku je úzce spojena s energetickými nároky spojenými s endotermií (Blumberg et al., 2020). V této fázi také dochází ke snění, nočním můrám, erekcím penisu či klitorisu. (Patel et al., 2024)

2.2 Funkce spánku

Funkce spánku stále zůstává největší neurobiologickou záhadou, přestože víme, že ovlivňuje širokou škálu tělesných dějů, např. na úrovni buněčné energetické homeostázy, synaptické plasticity, konsolidaci nově nabytých informací v paměti, termoregulaci, biosyntézy makromolekul a další. Hypotézy a výzkumy v této oblasti nadále pokračují, dosud ale nejsme s jistotou schopni říci, jaké všechny tělesné pochody spánek ovlivňuje v konkrétní míře a intenzitě (Vyazovskiy, 2015).

Většina dosud existujících hypotéz o funkci spánku zohledňuje jen malou část širokého repertoáru změn typických pro spánek, jako jsou kortiko-hipokampální interakce nebo snížený metabolismus. Aby se funkce spánku mohla zkoumat komplexním způsobem, je nezbytné pracovat s celkovým rámcem sjednocujícím různé jevy. Patří sem genová exprese,

jemné synaptické modifikace, aktivita jednotlivých buněk a také celkové chování konkrétního organismu v jednotném koherentním obraze (Vyazovski, 2015).

Prozatímni hypotézy můžeme dělit do dvou kategorií: ty, které se zaměřují na kognitivní funkce vyššího řádu a druhé na regenerační procesy. Hypotézy kognitivních funkcí vyššího řádu jsou základními mechanismy učení a paměti a synaptické plasticity. Mezi regenerační (restorativní) hypotézy patří udržování energetického metabolismu mozku, makromolekulární biosyntéza a odstraňování metabolického odpadu (Frank, 2019). Během spánku a především non-REM fáze se uskutečňují regenerační procesy organismu – obnova klidových membránových potenciálů neuronů a svalových buněk, odplavování a likvidace katabolitů při nízké metabolické aktivitě. Při spánku je tedy mozková činnost nezatížena tokem impulsů a zároveň zde dochází i k posílení imunitních funkcí (Mourek, 2012).

Dříve se předpokládalo, že spánek pouze pasivně chrání paměťové stopy před rušivými vlivy, avšak současné teorie zdůrazňují aktivní roli spánku, při které dochází k systémové konsolidaci paměti nejvíce v průběhu fáze non-REM. Dnešní poznatky charakterizují spánek jako stav mozku, který optimalizuje proces konsolidace paměti, na rozdíl od bdělého stavu, který je spíše optimalizován pro zaznamenávání nových informací do paměti (Rasch and Born, 2013). Proces konsolidace začíná reaktivací nedávno zakódovaných paměťových stop během non-REM, které jsou následně integrovány do dlouhodobé paměti. REM spánek pak nejspíše tuto transformaci stabilizuje (Rasch and Born, 2013). Jedná se tedy o princip aktivní redistribuce paměťových stop z dočasných do dlouhodobých, přičemž tento proces může být analogický i k paměti imunitní. Z toho vyplývá, že konsolidace paměti během spánku představuje obecně univerzální princip, který funguje v různých fyziologických systémech. Mezi mnoha funkcemi, které spánek zastává, je jeho role ve vytváření a uchování paměti zvláště důležitá: v tomto směru je tedy obzvláště důležité dbát na správnou spánkovou hygienu a řád u dětí. (Rosenwasser and Turek, 2015)

Spánek plní spoustu důležitých funkcí, včetně udržování organismu ve stavu nepohyblivosti jako strategie přežití (Meddis, 1976), podporuje propojování neuronů a plasticitu synapsí (Krueger, 2003) a zlepšuje konsolidaci paměti (Diekelmann and Born 2010). Také podporuje růst a regenerační procesy, zejména během REM spánku (Oswald, 1976).

Tyto poznatky dohromady naznačují, že spánek je klíčový pro fyzické a kognitivní zdraví a hraje klíčovou roli v různých fyziologických a psychologických procesech. Současné hypotézy o funkci spánku tedy zahrnují zrání neuronální sítě, podpora učení nebo paměti, cílené vymazání synapsí k zapomenutí nepodstatných informací, které by mohly synaptickou síť zatěžovat, kognitivní funkce, odstraňování metabolických odpadních produktů generovaných neuronální aktivitou v bdělém stavu mozku a ochrana metabolické energie (Patel et al., 2024).

Mourek (2012) dále uvádí: „*Ve spánku převažuje parasymptický vegetativní nervový systém. V REM spánku si naopak nervový systém jako by opakuje a fixuje získané paměťové stopy, proto je také jeho zastoupení ve spánkovém cyklu největší u dětí (až 50%).*“

2.3 Chronobiologie - definice, fyziologie a funkce cirkadiánních rytmů

Všechny životní formy, od nejjednodušších buněk až po nejsložitější organismy, projevují periodickou rytmicitu v některých svých biologických aktivitách a funkcích – ty nazýváme cirkadiánní rytmy. Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash a Michael W. Young z USA získali v roce 2017 Nobelovu cenu za fyziologii a lékařství za jejich objevy týkající se molekulárních mechanismů ovlivňujících cirkadiánní rytmy, známé také jako vnitřní biologické hodiny. Američtí badatelé identifikovali gen u octomilek, který ovlivňuje každodenní biorytmy, a prokázali, že tento gen, nazvaný period, kóduje protein (PER), který se akumuluje v buňkách v noci a rozkládá se během dne. Tento proces umožňuje organismu adaptovat se na různé části dne a musí se každý den synchronizovat se světelnými podněty, aby správně reagoval na aktuální denní dobu (Schibler, 2005). Další studie odhalily, že i jiné geny hrají roli v složitém systému cirkadiánních rytmů (Olivová, 2017).

Studium chronobiologie, které se zabývá biologickými rytmy živých organismů, má pevné základy i v Akademii věd ČR. Profesorka Helena Illnerová, která zastávala post předsedkyně Akademie věd, odhalila dopad změn v délce světelného dne během ročních období na vnitřní biologické hodiny v mozku savců (Olivová, 2017).

Rytmus spánku a bdění je součástí mnoha dalších přirozených rytmů. Tyto rytmické vzory fungují v nepravidelném prostředí a mají periodu, která se přibližuje 24 hodinám (Illnerová, 2016). Lidé a další savci mají endogenní systém cirkadiálních hodin, který se vyvinul v adaptaci na periodicky se opakující změny životního prostředí a ovlivňuje rytmické biologické funkce a chování s přibližně 24hodinovým cyklem (Finger and Kramer, 2020).

Cirkadiální časový systém poskytuje organizaci času pro většinu neurobehaviorálních, fyziologických a biochemických proměnných, včetně cyklu spánek-bdění (Fuller et al., 2006), kardiovaskulární aktivity, tělesné teploty, vnímavosti senzorického systému, střevní peristaltiky, jaterního metabolismu a detoxikace a mnoha funkcí endokrinního systému (Schibler, 2005). Lidské cirkadiální hodiny mají periodu poněkud delší než 24 hodin, uvádí se okolo 24,2 hodiny periody. K této synchronizaci potřebuje SCN (suprachiasmatické jádro) vnější časový signál (tzv. zeitgeber), což je pravidelné střídání světla a tmy, který mu pomáhá udržovat správný čas vzhledem k prostředí a každý den tak znovu resetovat denní cyklus (Richardson, 2005). Tento rytmus je tedy funkcí 2 cyklů – interního cirkadiálního hodinového cyklu organismu a cyklu Země, dne a noci.

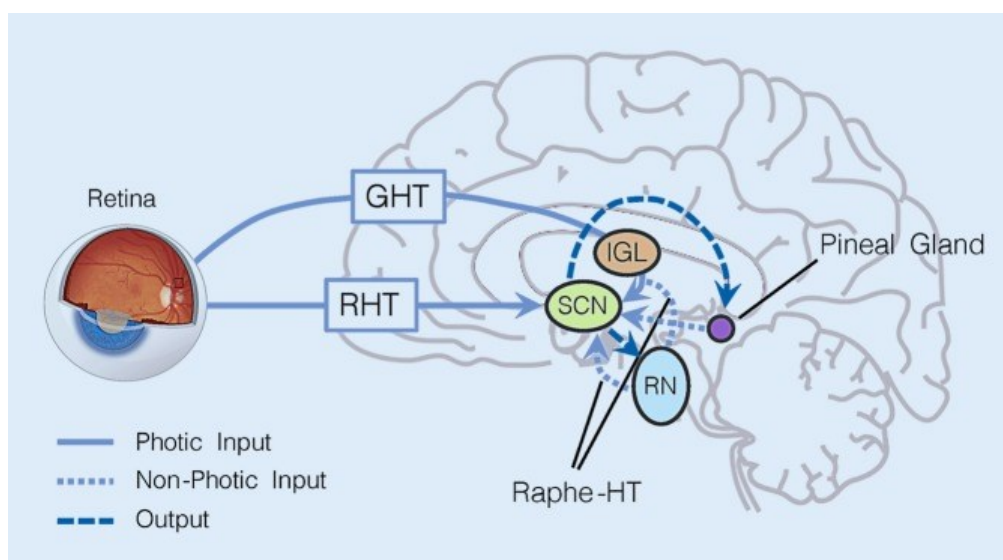
V lidském těle ale každá buňka potřebuje informaci o daném čase a klíčovou roli v řízení cirkadiálních rytmů hraje SCN prostřednictvím koordinace endokrinních a nervových drah, tato hlavní řídicí jednotka v mozku synchronizuje mnoho dalších periferních buněk (Schibler, 2005). SCN nacházející se v přední části hypothalamu je centrálním "mistrovským" časovým pacemakerem, který je nezbytný pro synchronizaci periferních hodin a udržení jejich vzájemné shody. Jedná se o 2 shluky přibližně 10 000 neuronů v hypothalamu nad optickým chiasmem po obou stranách třetí komory (Richardson, 2005). Kromě toho SCN obsahuje velký počet normálně spojených, ale potenciálně autonomních buněčných oscilátorů, které interagují a tvoří základ jeho pacemakerové funkce. Tyto buněčné oscilace jsou generovány sadou cirkadiálních hodinových genů, které interagují prostřednictvím negativní a pozitivní zpětné vazby a nakonec řídí cirkadiální exprese velkého počtu genů kontrolovaných hodinami, které zase regulují buněčné a fyziologické procesy (Rosenwasser and Turek, 2015).

Tyto centrální hodiny jsou tedy uloženy hluboko v mozku a nemají tak přístup ke světlu – to zajišťují neurony gangliových buněk (fotosenzitivní gangliové buňky) sítnice oka s obsahem fotopigmentu melanopsinu (Tri, 2019). Sítnice je tenká vrstva nervové tkáně na zadní straně oka. Nejvyšší hustota těchto fotoreceptorů, nazývaných čípky, nalezneme v centru sítnice. Existují tři typy čípků, každý z nich preferuje světlo s jinou vlnovou délkou. Čípky nám umožňují vnímat barvy, prostorové detaily a pohyb za světelných podmínek typických pro denní dobu. Naopak tyčinky, další druh fotoreceptorů, jsou aktivní za šera nebo tmy a jsou potlačovány při denním světle. Čípky i tyčinky mají svůj vrchol citlivosti na světlo kolem 505 až 555 nm (Gomes and Preto, 2015). Tyčinky v centru sítnice chybí, nemohou tedy rozlišovat barvy a umožňují jen základní vidění. (Blume et al., 2019) Tyto neurony komunikují s centrálními hodinami, kdy je čas dne nebo noci a jsou přenášeny jako elektrické signály přes retino-hypotalamický trakt (Aubé et al., 2013).

Každý neuron v SCN si udržuje svůj vlastní čas, ačkoliv přesnost rytmicity u jednotlivých neuronů není tak velká, jako u jádra jako celku. V biologických hodinách existují receptory s vysokou afinitou k melatoninu, což naznačuje, že melatonin může cíleně tyto hodiny ovlivňovat (Illnerová, 1996). SCN určuje délku cirkadiálních hodin, která je přibližně 24 hodin (ačkoli s určitou variabilitou), a také potřebuje vnější vlivy pro synchronizaci s okolím. Jeho vliv na hormony se děje prostřednictvím neuronálních a humorálních signálů. Pokud dojde k poruše funkce SCN, může dojít k desynchronizaci cirkadiálních rytmů, což má negativní vliv na metabolické a hormonální procesy, jako je hladina glukózy a inzulinu (Morris et al., 2012). K desynchronizaci časového systému organismu může docházet z různých důvodů, nejčastějšími jsou ale práce na směny, zejména v noční služby, dále pásmová nemoc (jet-lag z cestování) a přidružené další rytmické procesy úzce spojené se stavem spánku a bdění. Jedná se i o rytmy, kdy organismus přijímá potravu a kdy hladoví. Tyto vnitřní dezynchronie, které se vyskytují při změně časového pásma a na směnných službách nejsou nicméně tolik dramatické, jako tzv. sociální jet-lag. K tomuto fenoménu dochází u lidí žijících pod relativně stabilními podmínkami, kteří ale zažívají desynchronizaci z důvodu používání umělého osvětlení a mají odlišné stravovací a spánkové návyky v týdnu, o víkendech a svátcích. (Rosenwasser and Turek, 2015)

Sociální jet-lag je fenomén moderní společnosti, při němž je posouván produktivní čas dne do pozdějších hodin, než tomu bývalo dříve. Diskrepance mezi pracovními a volnými dny, mezi sociálním a biologickým časem lze popsat jako sociální jet-lag (Wittmann et al., 2006). Člověk se tedy nesetkává s aktuálně nastaveným systémem fungování od brzkých ranních hodin, a nebo je sociálně (i fyzicky z nedostatku spánku) vyčerpaný a trvá, než se organismus znovu vrátí k původním rytmům (Wittmann et al., 2006).

Kromě toho SCN ovlivňuje hormonální systémy, včetně melatoninu, osy hypotalamus-hypofýza-nadledviny (HPA), hypotalamo-hypofyzární štítné žlázy a epinefrinu. Porucha jeho funkce může narušit regulaci těchto hormonů a vést k různým fyziologickým a behaviorálním problémům (Morris et al., 2012).



Obrázek č. 1 Vstupní a výstupní dráhy do a ze suprachiasmatického jádra (Blume, 2019)

Cyklus spánek-bdění je nejznámějším důsledkem našich cirkadiánních rytmů. Zatímco spánek je modulován cirkadiánním systémem, je navíc také regulován homeostatickými tlaky v případě bdění (Carley, 2016). Spánek a bdění jako takové závisí na vzájemné interakci mezi těmito cirkadiánními a homeostatickými procesy. Sklon ke spánku je funkcí bdělosti, to znamená, že čím déle je člověk vzhůru, tím větší je pak homeostatický spánkový tlak. K nástupu spánku dochází, když ustupuje cirkadiánní signál podporující bdění, což se shoduje s večerním vzestupem hladiny melatoninu a poklesem tělesné teploty (Santhi, 2020).

„Cirkadiánní rytmy jsou koordinovány biologickými hodinami uloženými ve dvou suprachiasmatických (SCN) jádrech hypothalamu a které určují tzv. genetický cirkadiánní profil. Mezi cirkadiánní rytmy řadíme např. rytmus střídání spánku a bdění, rytmy v tělesné teplotě, v tvorbě a uvolňování hormonů, v aktivitě enzymů, či v "zapínání" a "vypínání" různých genů. Biologické hodiny jsou synchronizovány s 24hodinovým dnem převážně světloou periodou dne. Jejich podstatou je vícenásobně jištěný systém negativních a pozitivních transkripčně-translačních smyček hodinových genů. Hodinové geny a stovky dalších genů nejsou zapínány rytmicky jen v SCN v mozku, ale i v periferních orgánech. Mluvíme o celém časovém systému organismu koordinovaném z SCN.“ (Kitzlerová, 2011)

2.4 Vliv hormonů na spánkový cyklus

Pro účely bakalářské práce vybírám pouze nejdůležitější spánkový hormon melatonin, který se podílí na účincích na spánek a jeho cyklus. Dále kortizol, naopak ovlivňující schopnost probuzení. Mimo tyto zmíněné hormony zde hrají další významnou roli i jiné hormony, např. adrenokortikotropní hormon, prolaktin, noradrenalin, růstový hormon, ghrelin, leptin, testosteron, estrogen, ale navíc také neurotransmitery GABA (gamma-aminomáselná kyselina), glutamát, acetylcholin, dopamin a serotonin. V kontextu spánku a cirkadiánních rytmů má ale světlo největší vliv právě na funkci melatoninu a kortizolu.

2.4.1 Melatonin

Melatonin, známý také jako N-acetyl-5-methoxytryptamin, je hormon, který se vyskytuje v celé řadě organismů. U obratlovců, včetně lidí, je syntetizován především v mezimozku v šišince (epifyze) a okamžitě uvolňován do krevního oběhu v reakci na signály z SCN (Mattsson et al., 2012, Richardson, 2005). Buňky produkující melatonin nazýváme pinealocyty (Weichmann and Sherry, 2013). Složení melatoninu poprvé popsal Aaron Lerner v roce 1958. Šišinka produkuje melatonin rytmicky na základě signálů, která dostává z cirkadiánních hodin v suprachiasmatickém jádře hypothalamu. Na základě těchto signálů jsou hladiny melatoninu zvýšeny během subjektivní noci a téměř nedetekovatelné během subjektivního dne. Díky této regulaci SCN zůstává produkce melatoninu v šišince rytmická i v nepřítomnosti vnějších cyklů světla/tmy. Účinek světla na sekreci melatoninu lze

prokázat osvětlením sítnice během noci – světlo vyvolá okamžitý pokles hladin sekrece melatoninu (Richardson, 2005). Doba sekrece melatoninu se mění v závislosti na délce subjektivní noci. U všech dosud studovaných savců je tato doba kratší v krátkých letních nocích, zatímco je delší v dlouhých zimních nocích (Illnerová and Vaněček, 1980).

Melatonin je všudypřítomná molekula, která je lokálně syntetizována ve spoustě buněk a tkáních (Amaral and Cipolla-Neto, 2018) a není omezena pouze na savce. Je také produkována u dalších obratlovců, některých bezobratlých ale také mnoha rostlin s toutéž molekulární strukturou (Brzezinski, 1997). Čas, kdy se melatonin uvolňuje, se přizpůsobuje dennímu cyklu světla a tmy. Obecně se věří, že melatonin působí jako vnitřní synchronizátor organismu tím, že mu poskytuje informace o době noci, čímž stabilizuje a posiluje cirkadiánní rytmus a udržuje jejich vzájemný vztah. Melatonin má důležitou úlohu v mnoha fyziologických procesech, jako je regulace krevního tlaku, imunitní odpovědi a hemostázy, a má také vliv na buněčné procesy a biochemické mechanismy (Bruno and Leston, 2015), nejspíše má také potenciál potlačovat růst nádorů (Hansen, 2001). Jeho účinky jsou široce rozptýleny po celém těle.

Melatonin má například přímý vliv na teplotní rytmus, řídí pokles centrální teploty v nočních hodinách, což nám pak pomáhá lépe usnout. Receptory melatoninu se nacházejí i v cévách, kde ovlivňují průtok krve. Tyto účinky melatoninu mají důležitý význam pro pochopení fyziologie spánku a mohou být potenciálně využity i v léčbě poruch spánku (Bruno and Leston, 2015).

Expozice světelnému záření ovlivňuje expresi melatoninu, přičemž nejsilnější reakce nastává v oblasti spektra s krátkými vlnovými délkami mezi 446 a 477 nm, která je vnímána jako modrá barva. Bylo prokázáno, že modrá monochromatická světla zvyšují výkon při úkolech hodnotících subjektivní bdělost více než jiné vlnové délky (Souman et al., 2018). Endogenní rytmus sekrece je generován suprachiasmatickými jádry, které jsou synchronizovány s cyklem světla a tmy prostřednictvím retinohypotalamické dráhy (Amaral and Cipolla-Neto, 2018). Retinohypotalamický trakt převádí okolní světlo přijímané sítnicí na nervové signály, které dále putuje do souboru nevizuálních jader v mozku, které jsou zodpovědné za cirkadiánní, neuroendokrinní a neurobehaviorální regulace (Roecklein et al., 2013).

Studie naznačují, že individuální variace v genetické sekvenci melanopsinu mohou hrát klíčovou roli v riziku vzniku sezónní afektivní poruchy (SAD) a ovlivňovat změny v chování a spánkových vzorech během zimních měsíců (Roecklein et al., 2013). Světlo je schopno buď potlačit, nebo synchronizovat produkci melatoninu podle aktuálního světelného režimu. Hlavní fyziologická role melatoninu, jehož uvolňování se přizpůsobuje délce noci, spočívá v přenášení informací o denním cyklu světla a tmy do tělesných struktur (Bruno and Leston, 2015). U zdravých jedinců je melatonin z epifyzy vyplavován v noci, s vrcholem obvykle kolem 1-3 hodin ráno, a během dne je jeho produkce téměř zanedbatelná. Hlavní funkcí melatoninu je poskytnout interní biologický signál délky noci a signalizovat začátek a konec doby spánku (Mattsson et al., 2012). Sekrece melatoninu a posuny cirkadiánní fáze jsou ovlivněny „fotickou historií“, což znamená množstvím světla, které osoba viděla v průběhu dne (Blume et al., 2019, Chang et al., 2011).

Potlačení sekrece melatoninu světlem v noci je spojováno s možným zvýšeným rizikem vážných onemocnění, protože se objevuje stále více důkazů o jeho onkostatických účincích (Stevenson, 2006). Exogenní melatonin funguje jako 'chronobiotikum', což znamená, že může ovlivňovat biologické hodiny v těle. Kromě toho akutně zvyšuje pocity ospalosti během tzv. biologického dne. Tyto vlastnosti vedly k úspěšným léčbám poruch spojených s poruchami spánkového cyklu. U exogenního podávání melatoninu nicméně bylo dokázáno, že snaha o zachování správné cirkadiánní rytmicity může mít samo o sobě nepříznivý účinek. Farmakologické podávání melatoninu může jedince fázovat v závislosti na čase, kdy je podáván a může tedy přispívat k cirkadiánní poruše spíše než ji zmírňovat (Stevens, 2006). Endogenní melatonin, který tělo produkuje samo, pomáhá posilovat funkci lidského cirkadiánního systému, především v oblasti spánkových a bdělostních cyklů (Arendt, 2006). Nedávné studie také naznačují, že vystavení se světlu v místnosti večer před spaním může ovlivnit hladiny melatoninu a zkrátit dobu jeho produkce, což má za následek zkrácenou délku biologické noci. Reakce cirkadiánního systému na světlo, obecně kvantifikovaná stupněm posunu a potlačení melatoninu, závisí na čase expozice světlu, délce, intenzitě a spektrální složce. (Mattsson et al., 2012) Protože je velmi složité přímo měřit cirkadiánní reakce, často se jako náhrada ve výzkumech používá melatonin a stupně jeho potlačování, aby se zjistila citlivost lidského cirkadiánního systému na různé druhy světla. Jelikož existují důkazy, že tyto biologické aspekty ale nejsou vždy propojeny, musíme sledovat i data, která

přímo zkoumají, jak různé světelné podněty ovlivňují nastavení cirkadiánního systému (Brown, 2020).

2.4.2 Kortizol (kortizon, hydrokortizon)

Kortizol, známý především jako hormon stresu, je výsledným produktem osy hypotalamus-hypofýza-adrenální žláza (HPA) (Elder et al., 2014). Orel (2019, s. 1046) dále přesně uvádí: *„Hypothalamus produkuje příslušný liberin (kortikoliberin). Ten stimuluje speciální buňky předního laloku hypofýzy produkující adrenokortikotropní hormon (ACTH). Následně se uvolněný ACTH dostává krví do kůry nadledvin, kde stimuluje produkci kortizolu. Hladina tohoto hormonu v krvi pak zpětně působí na adenohipofýzu, hypotalamus a další mozkové oblasti.“*

Tento hormon se i s dalšími glukokortikoidy významně podílí na správném fungování protizánětlivých procesů, imunosupresivních a protialergenních účincích. Umožňuje tělu přizpůsobit se různým výzvám a stresovým situacím. (Elder et al., 2014)

Reakce kortizolu na probuzení je změna koncentrace kortizolu, tzv. cortisol awakening response (CAR), což označuje prudký nárůst hladin kortizolu pozorovaný ihned po probuzení. Během fáze CAR se hladiny kortizolu zvyšují o 38% až 75% ve srovnání s hladinou kortizolu (Elder et al., 2014). Typicky se hodnotí pomocí vzorků slin obsahujících kortizol ihned po probuzení a poté v pravidelných intervalech během následující hodiny. CAR je důležitým aspektem funkce osy hypotalamus-hypofýza-nadledviny, protože je regulován odlišným způsobem než během zbytku dne. Kortizol je spojován také se stresem, afektivními poruchami s rizikem pro fyzické zdraví.

Vylučování kortizolu je řízeno řadou hormonů, které jsou aktivovány v paraventriculárním jádře (PVN) hypothalamu. Samotné PVN je silně ovlivňováno vyššími strukturami v mozku, jako jsou hippocampus, amygdala a přední kůra. Dále existují propojení mezi PVN a suprachiasmatickým jádrem (SCN). Neuroanatomické studie prokázaly přímé axonální spojení z SCN do PVN, které jsou doplněny nepřímými spojeními přes dorsomediální hypothalamus.

SCN také komunikuje s autonomními dráhami, které přímo ovlivňují nadledvinky, a pravděpodobně je zodpovědné za synchronizaci dalšího uvolňování kortizolu po probuzení. (Sтеptoe, 2016) Po odpoledním spánku se CAR nevyskytuje. CAR je citlivý na světlo v okolí, ale ne na úroveň kortizolu při probuzení (Sтеptoe, 2016).

Vystavení se slunečnímu světlu brzy po probuzení (kdykoli to jde, i když je vysoká oblačnost) podporuje uvolňování kortizolu v brzkých ranních hodinách, což připravuje tělo na večerní spánek. Ranní nárůst kortizolu také příznivě ovlivní imunitní systém, metabolismus a schopnost soustředit se během dne (Huberman, 2024).

2.5 Chronotypy

Časový systém organismu vykazuje u lidí značně variabilní interindividuální rozdíly. K variabilitě lidského chronotypu přispívají nejrůznější faktory jako sociální návyky a harmonogramy pracovní a školní, časy jídla a půstu ve stravování, příjem kofeinu a jiných látek, ale také externí faktory prostředí. Rytmus můžeme nacházet na různých organizačních úrovních od jednotlivých buněk po sociální chování. Ve skutečnosti se téměř všechny fyziologické a psychologické funkce liší v periodicitě. Chronotyp jako takový nám poskytuje údaje o jedinci a jeho preferenci buďto k dřívějšímu nebo pozdějšímu usínání, jakožto dřívějšímu nebo pozdějšímu vstávání druhý den.

Cirkadiánní rytmus hraje zásadní roli při regulaci biologických funkcí, včetně preference spánku a bdění, tělesné teploty, sekrece hormonů, příjmu potravy a kognitivních a fyzických výkonů. Změny v cirkadiánním rytmu mohou vést k chronickým onemocněním a narušenému spánku. Během 24hodinového časového období může být preferovaný čas člověka k aktivitě nebo spánku vyjádřen v konceptu chronotypů na ranní a večerní typ. Přesněji ale rozlišujeme chronotypy 3: ranní, neutrální a večerní typy (Montaruli et al., 2021). Ranní typy (M-typy) a večerní typy (E-typy) se dále dělí na extrémní a střední typy a samostatně pak neutrální (N-typ, neutrální) nebo taky osoby bez výrazné cirkadiánní preference. Asi 60% dospělé populace je klasifikováno jako typ N, zbývajících 40% jako jedna z dalších dvou kategorií (Montaruli et al., 2021).

Chronotyp také může ovlivňovat postoje, životní styl, kognitivní funkce, sportovní výkonnost a osobnostní rysy (Montaruli et al., 2021). Předpokládá se, že lidé ranního typu jsou více svědomití, přátelšší a orientovaní na dosahování úspěchu. Naopak u večerních typů se předpokládá mírná extroverze, projevující neurotické rysy a jsou spíše náchylní k mentálním nebo psychiatrickým, náladovým, osobnostním poruchám a poruchám příjmu potravy (Montaruli et al., 2021). Nelze ale člověka a jeho charakterové a osobnostní rysy generalizovat na základě potenciálního chronotypu, neboť v této rovnici hrají roli mnohé další faktory, jejichž vzájemná provázanost odkazuje na složitou komplexitu celého organismu.

Různé typy lidí preferují různé aktivity v ranních nebo večerních hodinách, což se týká i spánku (tzv. ranní/večerní preference, M/E preference). Tato individuální preferenční nastavení odrážejí rozdíly v délce endogenní periody, která je určena molekulárním mechanismem cirkadiánní rytmicity. Studie naznačují, že rozdíly mezi těmito preferencemi jsou dány jak genetickými faktory spojenými s expresemi hodinových genů, tak homeostatickým tlakem na spánek, který se akumuluje během dne a je ovlivněn časem od probuzení. V populaci se nejčastěji vyskytují jedinci s neutrálními preferencemi aktivit, u kterých lze pozorovat jak ranní, tak večerní preference, záležící na situaci. Méně častí jsou jedinci s výrazně ranními nebo večerními preferencemi (Fárková, 2019).

V chronobiologii se navíc užívá pojmu tzv. subjektivní noci. Označujeme tím stav organismu, kdy je tělo v největším útlumu a teplota těla se pohybuje na minimu. Takzvaná průměrná biologická půlnoc, která označuje prostředek spaní, se obecně udává kolem 3 hodiny ranní, nicméně subjektivní biologická půlnoc může pro jiného člověka znamenat například i 1 hodinu ranní. V zásadě se všichni lidé odlišují na základě chronotypu podle toho, jak fungují v průběhu dne, noci, jakou mají psychickou a fyzickou způsobilost. V tomto má každý člověk vrchol svých schopností poněkud odlišný. Problém s cirkadiánním rytmem většinou nastává, když člověk cestuje letadlem a přelétá jiná časová pásma, jedná se o tzv. pásmovou nemoc (jet-lag). To se týká zejména sportovců účastnících se světových soutěží a olympiád. Je důležité, aby se sportovec na novém místě po dobu několika dní správně adaptoval na zdejší časové pásmo a sladil si i svůj časový systém.

Pokud k adaptaci nedojde a jedinec je nucen podat nejlepší výkon v době jeho subjektivní noci, kdy jeho tělo není fyziologicky na takovou zátěž připraveno, může tak dojít k rapidně zhoršenému výsledku.

K posouzení a určení individuálního chronotypu jednotlivce se nejčastěji využívá dotazník Horneho a Östberga (MEQ, viz příloha 1). Rozdělení skóre MEQ je pravděpodobně dále ovlivněno několika faktory jako jsou pohlaví, věk, genetika, zeměpisná šířka a sociální návyky (Korczak et al., 2008). Několik studií také prokázalo, že v preferencích ranního či nočního typu hrají roli i polymorfismy v tzv. hodinových genech (Korczak et al., 2008).

Některé studie také ukázaly na možné spojení mezi roční dobou narození a chronotypem. Osoby narozené v období mezi dubnem a zářím významněji inklinují spíše k E-typu chronotypu a oproti tomu jedinci narození od října do března častěji bývají M-typy. Ranní typy mívají spánkový harmonogram dřívější, vstávají brzy a chodí spát dříve ve srovnání s večerními typy. Ty jsou naopak spojovány s pozdějším nástupem do postele a vstáváním, zejména o víkendech. Důsledkem toho mají nepravidelnější spánek a bdění. U těchto subjektů se vytváří spánkový dluh především v pracovních dnech, který poté o víkendech kompenzují delší dobou spánku (Korczak et al., 2008). Večerní typ je také obecně náchylnější k sociálnímu jet-lagu. Navíc pozdní chronotypy projevují největší rozdíly v čase spánku mezi pracovními a volnými dny, což vede ke spánkovému dluhu v pracovních dnech, a ty jsou pak ve dnech volna kompenzovány (Korczak et al., 2008).

3 Funkce světla u spánku a cirkadiálních rytmů

Abychom mohli pochopit vliv světla na lidskou fyziologii, je důležité světlu porozumět. Světlo lze vyjádřit jako záření v konkrétním rozsahu elektromagnetického spektra, které lze nejlépe popsat svou spektrální distribucí, určující množství energie nebo počet fotonů podle vlnové délky (Blume et al., 2019). To, jakým způsobem přijímáme světelné záření a jak se k němu stavíme, má velmi silný vliv na úroveň bdělosti a naši schopnosti usnout a dobře se vyspat.

3.1 Definice přirozeného a umělého světla

1.1.1 Denní světlo

Přirozené nebo denní světlo pochází ze slunečního záření a je kombinací přímého i nepřímého elektromagnetického záření, které prochází atmosférou a je ovlivněno různými odrazy. Délka a dostupnost tohoto světla závisí na geografické poloze, ročním období a podmínkách v atmosféře. Denní světlo má spektrálně rozmanité rozložení, které se mění jak během dne, tak i v závislosti na počasí a stavu oblohy, neboť denní světlo má široké spektrum způsobené průchodem slunečního světla atmosférou. Venku na přímém slunečním světle je jeho intenzita vysoká, zhruba 100 000 lx kdežto při soumraku nebo dešti klesá kolem hodnoty zhruba 25 000 lx (Blume et al., 2019). Uvnitř budov je intenzita denního světla obvykle nižší a snižuje se s vzdáleností od oken, standardní osvětlení kanceláří se pohybuje kolem 500 lx. Denní světlo je velmi proměnlivé a odlišuje se od osvětlení elektrického, které je všudypřítomné. Různé typy světelných zdrojů, jako jsou žárovky, zářivky nebo LED, mají odlišné spektrální složení, ačkoliv vypadají podobně. Tato skutečnost ale může mít různý vliv na biologické hodiny člověka (Wirz-Justice et al., 2020, Blume et al., 2019).

Kromě toho, že je světlo nezbytné pro zrak a umožňuje nám vidět, hraje také primární roli v cirkadiánní fyziologii. Lidé jsou diurnální organismy a jejich biologické hodiny synchronizují jejich fyziologické funkce tak, že funkce spojené s aktivitou probíhají ve dne, zatímco funkce spojené s odpočinkem se odehrávají v noci. Nesoulad mezi vnitřními cirkadiánními hodinami a požadovaným spánkovým režimem je hlavní příčinou cirkadiánních poruch spánku; může být zapojen i do určitých poruch nálad. Vzhledem k tomu, že světlo je hlavním podnětem biologickým hodinám k nastavení svého vlastního času v souvislosti s cyklem dne a noci, nevhodná expozice světlu naopak napomáhá rozvoji fyziopatologií cirkadiánních poruch (Dumont and Beaulieu, 2007).

Denní, měsíční a sezónní cykly přirozeného světla byly klíčovými formami environmentálních variací na zemském povrchu od počátku života. Sluneční světlo pohánělo vývoj všech biologických jevů - od samotné molekuly až po ekosystém, včetně metabolických a fyziologických drah, chování organismů, geografických poloh, druhové bohatosti a ekosystémových cyklů.

Přírozené světlo je v posledních 100 letech značně narušováno námi zavedeným umělým světlem a to především v době, kdy již má přírozeně panovat tma. Toto světlo pochází z různých zdrojů, např. pouličního osvětlení, reklamního osvětlení, osvětlení budov, bezpečnostního osvětlení, osvětlení domácností a vozidel (Gaston, 2015).

Výzkum opakovaně ukazuje pozitivní souvislost mezi expozicí přírozenému světlu a kvalitou spánku. Aarts (2006) zjistil, že vysoká intenzita expozice přírozenému světlu souvisí s lepší efektivitou spánku. Kaida (2006) také zjistil, že expozice přírozenému jasnému světlu v interiérech může snížit ospalost během odpoledne. Tyto studie pak dohromady naznačují, že expozice přírozenému světlu může mít významný vliv na kvalitu spánku a denní bdělost.

V přírozeném světle se nachází také modrá složka světla, stejně jako ve světle umělém. Tato část slunečního záření je důležitá k vyvolávání fyziologické reakce a je důležité pro vizuální procesy, včetně vnímání barev. Modré světlo pozitivně ovlivňuje paměť, bdělost, pozornost, reakční časy, schopnost učení a kognitivní výkon, ale ve večerních hodinách potlačuje sekreci melatoninu. (Gomes and Preto, 2015)

3.1.1 Umělé světlo

Umělé světlo poskytuje osvětlení, když není k dispozici světlo přírozené nebo je jeho nedostatek. Zlepšuje viditelnost ve vnitřním i vnějším prostředí a tím přispívá k větší bezpečnosti a pohodlí lidí. Záměrem umělého osvětlení je podpořit prosperitu společnosti v řadě důležitých oblastí, i když se stále více hromadí důkazy poukazující na nepříznivé dopady na zdraví člověka a životní prostředí. Víme, že umělé osvětlení má nepříznivé dopady nejen na lidstvo, ale i na zvířata, rostliny a rovnováhu ekosystémů (Tähhkämö a kol., 2019). Dnešní svět a především lidská populace je navíc vystavena mnohonásobně vyšší expozici umělého osvětlení, zvláště pak z mobilních telefonů a počítačů než kdy dřív, a tato čísla se každým rokem exponenciálně zvyšují (Green et al., 2017). V důsledku toho jsou lidé téměř neustále vystaveni neúmyslnému umělému osvětlení.

Produkce LED osvětlení se po roce 2000 značně rozšířila a vytěsnila tradiční světelné zdroje, které jsou v porovnání s LED méně účinné s nižší životností. Kromě toho je jednou

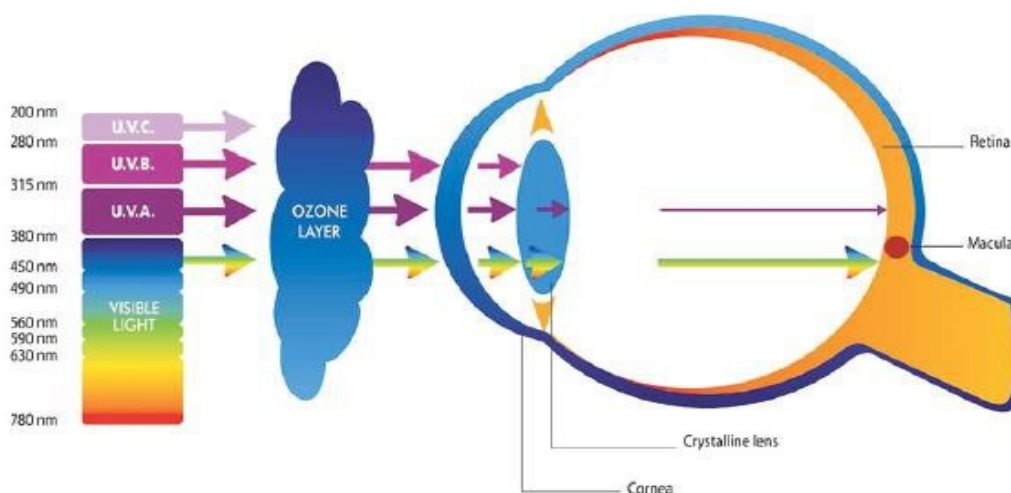
z nejdůležitějších změn v technologii LED rozšíření dostupných vlnových délek do oblasti ultrafialového (UV) záření. LED jsou nyní dostupné ve vlnových délkách od 214 nm. LED emitující UV-A (315-400 nm) se prodávají pro fluorescenční. Modrá část viditelného spektra je definována vlnovou délkou mezi 400 nm a 500 nm a LED světelné zdroje obsahují spektrum s výraznou modrou složkou mezi 450 a 470nm (Hansen, 2001). Jedná se tedy o nejlepší možnou imitaci přirozeného světla pocházejícího ze Slunce. Modré světlo ovlivňuje cirkadiánní synchronizaci, posiluje bdělost, což souvisí se stimulací fotosenzitivních retinálních gangliových buněk (ipRGCs) a má zásadní vliv na náladu člověka. Nevizuální reakce vycházejí především z těchto vnitřních fotosenzitivních gangliových buněk sítnice, jejichž axony inervují hypotalamus a další subkortikální oblasti (Brown, 2020). Nevizuální funkce jsou ty, které regulují a synchronizují naše biologické funkce, jako je právě cirkadiánní synchronizace, zorný světelný reflex, regulace melatoninu, kognitivní výkon, nálada, pohybová aktivita, paměť, tělesná teplota (Gomes and Preto, 2015). Tyto buňky mají maximální citlivost mezi 420-480 nm a jsou zapojeny do nevizuálních odpovědí na světlo (Gomes and Preto, 2015), Účinků světla se využívá ve fototerapii např. při sezónních afektivních poruchách a depresích způsobených nedostatkem světla a vitamínu D (Campbell et al., 2017). Kromě toho je využití metody modré světelné fototerapie velmi účinné ke snížení hladiny bilirubinu v séru novorozeneckých pacientů se žloutenkou. (Ouyang et al., 2020)

V roce 2000 vyšlo prohlášení International Commission on Non-Ionizing radiation protection (ICNIRP) shrnující tehdejší poznatky a také varování o emisích optického záření LED. Od té doby došlo k významným zlepšením v efektivitě a radianci (tj. emisi optického záření) LED. Nejdůležitějším pokrokem je vývoj „bílých“ LED, které lze využívat jako zdroje obecného osvětlení a jsou účinnější než tradiční světelné zdroje. LED emitující v oblasti ultrafialové vlnové délky se rovněž staly dostupné a pronikly ke spotřebním produktům. Tyto změny tedy vedly ke zvýšenému zájmu o bezpečnost emisí optického záření z LED. Několik studií na zvířatech naznačují, že modré a bílé LED mohou potenciálně způsobit poškození buněk sítnice při vysoké intenzitě osvětlení a při dlouhé expozici. Tyto studie ale nelze extrapolovat na normální světelné podmínky lidí. Ekvivalentní světelné účinky mohou způsobit i optické záření z jiných světelných zdrojů za

extrémních expozičních podmínek. Akutní poškození lidské sítnice v důsledku typické expozice modrým nebo bílým LED nebylo prokázáno. (ICNIRP, 2020)

Elektroluminiscenční diody, zkráceně LED, se staly běžným způsobem osvětlení v průmyslových a obchodních prostředích, jsou používány v televizích, počítačích, chytrých telefonech a tabletech. I když většina LED vydává bílé světlo, jejich hlavní emise jsou ve spektru světla modrého. Nové výzkumy naznačují, že expozice modrému světlu může ovlivnit mnoho fyziologických funkcí a může být užitečná při léčbě poruch spánku a cirkadiánních hodin (Tosini, 2016). LED diody jsou novým systémem osvětlení, který nahrazuje starší typy osvětlení. I přes určité obavy, že LED diody mohou poškozovat zrak, mají potenciál pomoci v léčbě sezónní afektivní poruchy a harmonizovat biologické hodiny. Je však důležité analyzovat účinky různých spektrálních a vlnových délek světla, jak vizuálně, tak nevizuálně. (Gomes and Preto, 2015)

Objev efektivních úzkopásmových modrých LED a jejich kombinace s fosforem pro vytvoření bílého světla vedly k jejich masovému využití jako zdroje světla pro všeobecné osvětlení. Kombinace červených, zelených a modrých světelných diod pro produkci bílého světla se také využívají. Tyto nové technologie pomalu nahrazují tradiční zdroje osvětlení jako jsou zářivky a žárovky. Existují však drobné rozdíly ve výstupu světla bílých LED oproti tradičním zdrojům. Ačkoliv bílé LED obvykle nevyzařují žádné UV záření a minimální množství infračerveného záření, mohou emitovat právě více modrého světla než konvenční světelné zdroje. Na základě tohoto vznikají obavy z potenciálních negativních dopadů expozice tohoto světleného zdroje na lidské zdraví (ICNIRP, 2020). Modré vlnové délky, které jsou prospěšné během denních hodin, protože zvyšují pozornost, reakční časy a náladu, mají více rušivý efekt v nočních hodinách. Šíření elektroniky s obrazovkami, stejně jako energeticky úsporného osvětlení, zvyšuje expozici modrým vlnovým délkám, a to zejména po západu Slunce. (Harvard Health, 2020)



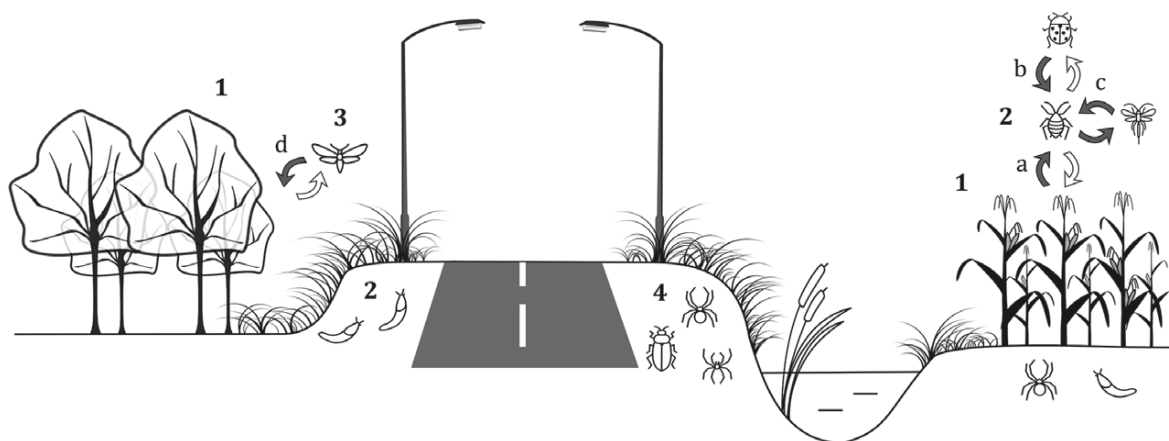
Obrázek č. 2 Absorpce a přenos slunečního záření v oku. (Gomes, 2015)

3.2 Světelné znečištění

Po objevu Edisonovy žárovky se náš svět razantním způsobem změnil, započala moderní éra elektrického osvětlení. S nadsázkou můžeme říci, že se svět doslova topí v generovaném množství světla a téma světelného znečištění se teprve postupně otevírá a diskutují se jeho důsledky a problémy s ním spojené. Bohužel se tématu světelného znečištění ještě stále dostává málo pozornosti na rozdíl od jiných environmentálních problémů, které jsou ale k vyřešení často mnohem složitější a komplexnější, např. znečištění povrchových vod nebo klimatické změny. Mnoho environmentalistů, přírodovědců a lékařských výzkumníků považují světelné znečištění za jeden z nejrychleji se rozvíjejících a nejrozšířenějších druhů environmentálního znečištění. Rostoucí množství vědeckých výzkumů naznačuje, že světelné znečištění může mít trvalé nepříznivé účinky jak na zdraví lidí, tak zdraví ostatních živočichů. (Chepesiuk, 2009)

Tvrzení, že umělé osvětlení je škodlivé pro životní prostředí, narušuje faunu a flóru, viditelnost hvězd a lidské zdraví, je tedy dnes již obecně přijímaným faktem. Spánek živočichů žijících ve volné přírodě je narušován pouličními lampami, bezpečnostními světly a dalšími světelnými zdroji, sloužících především k bezpečnosti lidí. Ve většině velkých měst světelné znečištění způsobilo, že je pozorování hvězd možné prakticky jen

v planetáriích a hvězdárnách. Neznamena to ale, že jsou umělá osvětlení jenom nezbytně špatná. Možnost svícení prospělo společnosti tím, že se prodloužila délka produktivního dne pro práci, ale také pro nejrůznější rekreační aktivity, které vyžadují světlo. Postupně si začínáme uvědomovat, že se mnohá venkovní osvětlení stávají velmi neefektivními, obtěžujícími až zbytečnými. Pro odhad relativního dopadu světelného záření je třeba zohlednit jeho zářivost, úhlovou fotometrii a podrobné spektrální rozložení. Určité spektrální charakteristiky mohou být považovány za škodlivé především v noci, ale na straně druhé výhodné během dne. Příkladem mohou být lampy s obsahem modré barvy, které jsou pro lidské zdraví, viditelnost hvězd a fotosyntézu vegetace v noci škodlivé, ale ve dne mohou napomáhat růstu rostlin. (Aubé et al., 2013) Zavedení umělého osvětlení do noční krajiny výrazně narušuje přirozené světelné cykly. Toto umělé osvětlení se dělí na dva hlavní typy. Prvním typem je přímé světlo z umělých světelných zdrojů. Tento typ osvětlení se obvykle vyskytuje v blízkosti světelného zdroje, například pod pouličními lampami. Jeho intenzita klesá s vzdáleností od zdroje, což má vliv na osvětlení okolního prostředí. Druhým typem je nepřímé světlo, které se odráží od různých povrchů a může mít také vliv na noční prostředí. Přímé osvětlení může přímo ovlivnit organismy, které žijí v daném prostředí, zejména pokud jsou nepohyblivé nebo mají omezenou schopnost pohybu. Může také vytvářet nerovnoměrné osvětlení v krajině, což ovlivňuje pohyb živočichů. Například světla automobilů mohou být silná a mohou pronikat na větší vzdálenosti, což může ovlivňovat organismy v okolí. Celkový vliv umělého osvětlení na noční prostředí je složité a obtížné definovat, protože se liší v čase a prostoru. Studie naznačují, že zhruba 11 % světového pozemního povrchu je ovlivněno přímým osvětlením. Tato čísla ale mohou být navíc podhodnocena, protože nezahrnují všechny zdroje světla a jejich rozmanitost. (Gaston et al., 2017)



Obrázek č. 3 Jak umělé osvětlení v noci může ovlivňovat přírodu kolem silnic a zemědělské ekosystémy (Grubisic, 2018)

Světelné znečištění nadměrným osvětlením našeho prostředí a noční oblohy a jeho nekontrolované používání hraje klíčovou roli v patogenezi poruch spánku nejen u lidské populace, ale bohužel ve velkém také ovlivňuje jiné organismy žijící v bezprostřední blízkosti člověka, např. ptáci, hmyz a jiní savci. Podstatná část světové biodiverzity jsou noční živočichové (30% všech obratlovců a více než 60% všech bezobratlých), a pro tyto organismy byla jejich časově diferencovaná nika podporována vysoce rozvinutými smysly, často zahrnujícími speciálně přizpůsobené zrakové schopnosti (Hölker et al., 2010). Cirkadiální fotoreceptory jsou přítomny v sítnici obratlovců po dobu déle než 500 milionů let a předpokládá se, že cirkadiální fáze noci označuje ranou evoluci savců (Hölker et al., 2010).

Nokturnalita by tedy mohla být důležitým krokem v evoluci obratlovců, ale je v současnosti ohrožena nepředvídatelnými důsledky nynějšího nadužívání umělého světla. Velkým problémem je také škodlivost umělého světla působící na ptactvo, které je tímto často dezorientováno a ptáci následně ztrácejí správnou orientaci při migraci a stěhování do cizích krajín. Světelné znečištění ohrožuje biodiverzitu změnou nočních návyků (rozmnožování, migrace) hmyzu, obojživelníků, ryb, ptáků, netopýrů a dalších zvířat a stejně tak narušuje i rostlinnou říši zkrácením jejího přirozeného cyklu dne a noci. (Hölker et al., 2010). Velký počet hmyzu je každý den ohroženo na životě primárně venkovními světly, neboť jsou jimi instinktivně přitahováni a následně umírají vyčerpáním. Světlo a světelné znečištění tak může škodit hmyzu snížením celkové biomasy a velikosti populace a změnou relativního složení populací, což může mít vliv na všechny úrovně potravního řetězce. Hmyz je přizpůsoben přirozenému světelnému režimu a je tedy velmi citlivý na světlo z hlediska

periodicity, polarizace, intenzity, zdroje a vlnové délky. Zásahy umělého světla mohou následně změnit chování, spánek, migraci, aktivity jako je opylování, sbírání nektaru, bioluminiscence, reprodukční úspěch, rovnováhu mezi predátory a kořistí, a tím mohou vést ke změnám ve složení společenství (Hagen et al., 2015, Gaston et al., 2017). Bohužel stále neexistuje množství relevantních studií, které by přímo potvrzovaly nebo vyvracely další potenciální dopady umělého osvětlení na chování hmyzu nebo jiné dopady na tyto organismy.

Z dosud známých informací a výzkumů můžeme ale předpokládat, že světlo jako takové organismy může ovlivňovat na nejrůznějších úrovních a měli bychom se tedy jeho produkci snažit eliminovat nebo alespoň zredukovat tak, aby nepřinášelo zvířatům a lidem více škody než užítku. Opět je to jen lidská společnost, která dokáže tento environmentální problém vyřešit a přizpůsobit okolní přírodě pro minimalizaci negativních následků, a k tomu může dojít pouze tehdy, budeme-li dostatečně informováni a vzděláváni v oblastech, které pak můžeme kousek po kousku postupně začít měnit. Člověk dnešní společnosti by rozhodně měl řešit důsledky svého často neuváženého chování v minulosti, a to právě proto, že dnes již víme a máme potřebné znalosti k tomu, abychom pochopili, jakým chováním jsme se dostali do tohoto bodu, kdy už je neúnosné žít v prostředí, které jsme si nastavili před desítkami let a velmi neochotně ho přizpůsobujeme dynamice dnešní přírody. V podstatě můžeme říci, že upravit a optimalizovat umělé osvětlení je jedním z nejjednodušších problémů, které můžeme do pár let globálně vyřešit.

Existují technologie a úsporné žárovky, které dokážeme nastavovat jak intenzitou, tak spektrem pro konkrétní dobu dne co nejúčelněji. Takto můžeme personalizovat osvětlení například ve svých domovech, školách, na pracovištích, v kancelářích, ale primárně také na exponovaných místech jako jsou ulice, obchodní centra, billboardy a nevhodně umístěné jiné zářiče svítící v noci. Dle většiny studií je ale diskutabilní, zda tento optimalizovaný mechanismus používání umělého osvětlení pomůže se spánkem každému, kdo trpí insomnií nebo jinými onemocněními a poruchami. Spíše ale nějakou částí přispěje k obecnému veřejnému zdraví už jen na základě toho, že je světlo opravdu jedním z nejdůležitějších elementů pro život na Zemi.

Ztráta temnoty v noci má potenciálně důležitý, avšak téměř zcela opomíjený dopad na biodiverzitu a s ním propojené přírodně-sociální systémy. Výzkumy ohledně světla a jeho možných dopadů na fyziologii a chování živočichů je obecně velmi náročné uchopit a provést, neboť zde figuruje spousta proměnných jak z vnějšího tak vnitřního prostředí toho kterého druhu, ale navíc i jednotlivce.

V České republice postupně probíhají snahy o zlepšení environmentálního prostředí za cílem lepší viditelnosti v noci bez světelného smogu, ale také se klade velký důraz na zachování biomasy hmyzu, která bohužel na základě špatného a nadměrného užívání světelných zdrojů v noci, rychlým tempem vymírá (Hallmann et al., 2017). Studie, na které Hallmann (2017) 27 let pracoval říká, že entomofauna za tuto dobu vykazuje pokles o 76% v letních měsících, a až o 82% úbytku biomasy celkově (v rámci Německa).

4 Vliv světla na spánek a cirkadiánní rytmy

Jedním z důvodů, proč má světlo tak významný efekt na velké množství různých aspektů naší biologické stránky, je jeho schopnost přeměnit se z elektrických signálů působících v našem mozku a těle do signálů vedených hormony. Expozice přirozenému nebo umělému osvětlení zcela jistě ovlivňuje lidský organismus na úrovni nervové, hormonální a s větší jistotou spíše způsobuje problémy se správnou spánkovou hygienou, neboť dokáže narušovat přirozené rytmy světla a tmy. Otázkou ale stále zůstává, jak moc je umělé světlo problémem pro celkové zdraví člověka a také zvířat a zda jeho nevhodné užívání, stejně jako přílišná intenzita, způsobuje některé typy onemocnění jako např. karcinomy kůže, diabetes, poruchy nálad. Neustále probíhají výzkumy ohledně rizik při vystavování se nadměrné expozici a intenzitě umělého světla. Víme, že expozice intenzivnímu studenému bílému nebo modrému záření může vést k porušení cirkadiánního rytmu, protože vysoká citlivost oka pro regulaci cirkadiánního rytmu je v modré vlnové délce (460-470 nm), kde většina „bílých“ LED vykazuje silné emise. Důležité je zde zmínit, že expozice modrému záření narušuje

cirkadiánní rytmus pouze pokud se vyskytuje večer nebo v noci, nikoliv během dne. (ICNIRP, 2020).

Lidé žijící v moderních společnostech zažívají velký nárůst umělého venkovního osvětlení a pokles přirozené expozici venkovnímu světlu v průběhu dne, obecně mnohem více času trávíme uvnitř a jsme tedy vystaveni spíše světlu umělému. Stírá se tedy dříve ostrý rozdíl mezi dnem a nocí, který existoval v průběhu naší evoluce. Naše společnost je stále méně striktně denní ve smyslu pracovním a společenském a to víceméně odporuje milionům let evolučního vývoje (Rosenwasser and Turek, 2015). Více světla v noci a méně světla během dne negativně ovlivňuje cirkadiánní fyziologii, pohodu a spánek, což potenciálně přispívá k incidenci nemocnosti a vyhoření na pracovištích (Cajochen et al., 2019). Větší množství umělého osvětlení ve večerních hodinách škodí cirkadiánnímu systému, jelikož je v tuto dobu jeho citlivost na světlo nejvyšší. Nedostatečná expozice dennímu světlu a zvýšená expozice elektrickému osvětlení v noci je spojena se změnou času spánku a dalšími negativními důsledky na zdraví a spánek (Blume et al., 2019, Brown, 2022).

Přirozené cykly světla a tmy řídí načasování většiny aspektů fyziologie a chování zvířat. Umělé osvětlení v noci naše biologické rytmy narušuje, a to především cyklus spánek-bdění také u volně žijících zvířat (zejména spících v noci) (Santhi, 2020, Hölker et al., 2010). Dnes již existují důkazy o silné souvislosti mezi expozicí umělému osvětlení a onemocněním, např. vyšší riziko rakoviny prsu (Stevens, 2006), prostaty (García Saenz et al., 2018) a tlustého střeva a může také zapříčinit obezitu, diabetes a deprese (Aubé et al., 2013, Chepesiuk, 2009). Navíc se potvrzuje, že ženy mají o 30-50% vyšší riziko rakoviny prsu v zemích s nejvyšší expozicí umělému osvětlení v noci ve srovnání se zeměmi s nižší expozicí (Aubé et al., 2018). Důvody rozvoje rakoviny zapříčiněné světlem spočívají buď v poruše cirkadiánního rytmu, zejména právě díky nárůstu používání elektrické energie k osvětlení v noci, ale také absence slunečního prostředí během dne uvnitř budov. Cirkadiánní porucha by tak mohla vést ke změnám v produkci melatoninu a ve změně molekulárního času cirkadiánních hodin v SCN (Stevens, 2006).

Poruchy cirkadiánních rytmů a nedostatek spánku identifikujeme jako rizikové faktory a ty mohou vést k poruchám bdělosti a snížení výkonnosti (West et al., 2011).

Světelné záření je nedílnou součástí fungujícího vizuálního vnímání, ale navíc také ovlivňuje mnoho aspektů lidské fyziologie a chování, včetně nálady, neuroendokrinních a kognitivních funkcí. Tato řada retinálně řízených reakcí na světlo jsou důležitými determinantami zdraví, pohody a výkonu, z nichž některé jsou již klinicky relevantní. To dokazuje současná světelná terapie pro poruchy spánku a cirkadiálních rytmů a různých forem depresí (Brown, 2022).

I přesto, že nám Edisonův vynález žárovky před 140 lety značně změnil a usnadnil život, pomohl s následnou urbanizací a industrializací, dnes bohužel začínáme za tuto možnost platit svou daň. Jmenovitě se jedná o dezorganizaci cirkadiálního systému, chronodisrupce (CD) a poruchy melatoninového rytmu. Bonmati a kol. (2014) se spolu s Brown (2022) shodují, že CD je spojena se zvýšeným výskytem diabetu, obezity, srdečních chorob, kognitivních a afektivních poruch, předčasného stárnutí a některých typů rakoviny. Aby byly biologické hodiny správně nastaveny, je potřeba vzít v úvahu intenzitu světla, načasování a spektrum. Je potřeba zmínit, že ne všechny vlnové délky světla jsou stejně chronodisruptující. Modré světlo, kterému je zvláště výhodné se během dne vystavovat, je ale ve večerních hodinách naopak rušivé a vyvolává největší inhibici melatoninu. Noční expozice modrému světlu se v současnosti zvyšuje v důsledku šíření energeticky úsporného osvětlení (LED) a užívání elektronických zařízení (Bonmati a kol., 2014). Například světlo z LED obrazovek bylo opakovaně spojováno se zhoršeným spánkem a fyziologickými procesy, jako je sekrece melatoninu. Modré světlo má tedy vyšší účinnost při potlačování melatoninu v noci než jiné vlnové délky ve viditelném spektru (Brainard et al., 2001) Expozice krátkovlnnému světlu v noci může vést k povrchovému spánku a potlačení spánkové aktivity, např. při používání mobilních telefonů těsně před spaním. Není ale jasné, zda je toto způsobeno samotným světlem ze zařízení nebo i jinými faktory (Blume et al., 2019).

Lidé tráví více času v uzavřených budovách v interiérech (průměrně 87%) (Gomes and Preto, 2015) při umělém osvětlení nežli na denním světle, dopady na zdraví jsou evidentní. Intenzita světla v interiérech přes den je obvykle mnohem nižší ve srovnání s expozicí na přirozeném světle, zatímco expozice umělému světlu ve večerních hodinách jsou relativně vysoké a mohou tak zpozdit náš cirkadiální systém a akutně potlačit hladiny melatoninu a subjektivní ospalost (Kulve et al., 2019). Přibližně jedna miliarda lidí na celém světě

postrádá vitamín D nebo jej nemá dostatek. Dokazuje to vzestup tzv. sezónní afektivní poruchy, což je typ deprese, která se objevuje spíše v zimním období, kdy je obecně méně přirozeného světla. Také pracovníci na směnném provozu čelí zvýšenému riziku rakoviny, obezity a problémům se spánkem (Zielinska-Dabkowska, 2018).

Zielinska (2018) dále uvádí, že lidský cirkadiánní systém je mimořádně citlivý na spektrum světla viditelného okem, zejména modré vlnové délky, a jeho množství a intenzitu. Světla určitých vlnových délek, především modré světlo, mají významný vliv na cirkadiánní fyziologii a kognitivní funkce. Výzkumy ukazují, že expozice modrému světlu během dne má lepší účinek, než expozice zelenému nebo fialovému světlu ke zlepšování paměťových úkolů v různých oblastech mozku. To je dáno nevizuálními účinky světla, které mohou stimulovat neurobehaviorální reakce a zlepšit bdělost a kognitivní výkon. Světlo obohacené modrou složkou také účinněji potlačuje melatonin a ovlivňuje fázové posuny cirkadiánního rytmu více než zelené světlo, což má za následek zvýšenou srdeční frekvenci, centrální tělesnou teplotu a změny v architektuře spánku. Exponování se modře obohacenému světlu přes den rovněž zlepšuje kognitivní výkon při úkolech vyžadujících soustředění, což naznačuje jeho potenciál pro zlepšení bdělosti a kognitivních funkcí. (Cajochen et al., 2005)

Pokud je člověk vystaven modrému světlu ve večerních a nočních hodinách, začátek tvorby melatoninu v jeho těle se zpozdí nebo nenastane vůbec. Nejvýznamnější potlačení tvorby melatoninu se vyskytuje při večerní expozici světlu s vyšším podílem modré složky, což je typicky případ u zdrojů s vyšší teplotou chromatičnosti (5 000 K – asi 300lx), které často nazýváme jako "daylight white" nebo "studená bílá" (Štěpanyová, 2019). Zásadním světelným disruptorem v nočních hodinách je v dnešní době veškerá výpočetní technika, kterou pravidelně a dlouhodobě používá velká část populace v téměř celosvětovém měřítku.

Jedním z hlavních nedostatků současného poznání dopadů umělého nočního osvětlení na biologické a cirkadiánní rytmy je nejistota ohledně toho, jaké evoluční reakce může vyvolat. Na jedné straně je zde dlouhá historie evoluce organismů, která je spojená s přirozenými cykly světla a tmy, což naznačuje, že organismy mohou být omezeny v možnostech reagovat na nové podmínky způsobené umělým osvětlením. Na druhé straně, pokud umělé osvětlení způsobí značné změny v načasování biologických událostí, může to mít vážné následky pro schopnost organismů přežít a reprodukovat se. Tento nový selekční tlak může vést k

evolučním změnám v chování, fyzických vlastnostech a načasování biologických rytmů. Je možné, že jsme dosud nebyli schopni dohlédnout možným rozsahům a důležitosti těchto evolučních reakcí na umělé osvětlení. (Gaston et al., 2017)

5 Optimalizace a personalizace osvětlení pro zlepšení spánkového režimu

Střídání světla a tmy je člověku a dalším organismům vlastní již miliony let od prvopočátku bytí jako takového. Spolu s kyslíkem, vodou a teplem, je světlo jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících naše zdraví, a jehož také dnes můžeme a měli bychom účinně optimalizovat ve svůj prospěch. Stejně tak spánek hraje jednu z nejdůležitějších úloh pro obecné zdraví a pohodu člověka nebo jiného organismu. Svou funkcí dokáže předcházet nejrůznějším typům civilizačních onemocnění, hraje zásadní roli v práci a funkci paměti, regeneruje mozek, a také při spánku probíhají nejrůznější fyziologické mechanismy oprav částí tkání a organismu jako celku.

Přirozené biologické mechanismy střídání světla a tmy, které byly pro lidstvo hlavním řádem po miliony let, ale člověk dokázal svými důmyslnými technologiemi nabourat do takové míry, že dnes již žije v prostředí, které má nekonečně možností k udržení si všudypřítomného světla s jeho nejrůznějšími intenzitami a barevnými spektry, jež následně ovlivňují a narušují jeho cirkadiánní hodiny a spánek postupně degradují. Zároveň se také ale ocitáme v době, kdy je možné právě tyto technologie využívat ve svůj prospěch a ke správné optimalizaci světla a jeho účelnému použití v konkrétních denních hodinách dle potřeb fyziologie a biologie člověka. Podstatné důkazy naznačují, že expozice umělému osvětlení (související s narušením cirkadiánních rytmů a spánku) přispívá k negativním dopadům na zdraví, spánek a produktivitu, od akutního zvýšeného rizika nehod po zvýšenou incidenci kardiometabolických poruch a forem rakoviny (Brown, 2022). Bylo by jistě vhodné širokou veřejnost s tématem světla a s ním spojených chronodisrupcí lépe seznámit a informovat skrze akademickou obci a média. Téma by si také zasloužilo větší pozornost ve školách. Skrze něj by bylo zásadní žáky uvědomovat o úskalích využívání světelných zdrojů nejen ve vztahu ke svému tělu, ale také ke zvířatům a okolí obecně.

5.1 Doporučení k optimalizaci osvětlení pro zlepšení spánku a cirkadiánních rytmů

Cílem této kapitoly je navrhnout některá opatření k přizpůsobení světelných podmínek pro zlepšení spánku a také pro co nejoptimálnější kognici a fungování během dne. Přijímání světelných signálů lidským zrakem má důležitý vliv na zdraví a pohodu prostřednictvím modulace cirkadiánních rytmů a spánku, stejně jako neuroendokrinních a kognitivních funkcí. Pokroky v poznání základních mechanismů a nové technologie osvětlení nyní nabízejí možnosti upravit osvětlení tak, aby podporovalo optimální fyzické i duševní zdraví a výkonnost. Vzhledem k tomu, že světlo u lidí vyvolává řadu fyziologických reakcí, včetně synchronizace cirkadiánního systému, regulace melatoninu a spánku a bdělosti, je zde značný zájem o určení povahy sensorických signálů odpovědných za tyto účinky a o stanovení vhodných způsobů kvantifikace a předpovídání těchto účinků.

Současné obavy týkající se udržitelnosti, energetických nákladů a potřeby zlepšení vnitřního prostředí jsou velmi důležité aspekty. Aby bylo těchto cílů dosaženo, je nutné zvýšit úroveň osvětlení během dne, zejména ráno, a postupně ji směrem ke konci dne snižovat. Tento přístup by tak mohl nejen napomoci zdraví, ale také snížit světelné energetické náklady. (Gomes and Preto, 2015) Osvětlovací průmysl v současnosti nabízí široké spektrum možností osvětlení, které řeší nebo minimalizují problémy spojené se staršími technologiemi.

Vylepšit spánkovou hygienu a cirkadiánní rytmus lze také prostřednictvím dalších jiných způsobů chování, které se spolu s expozicí světelnému záření propojují, a dohromady tvoří komplexní celek. Jmenovitě jde o přizpůsobení si spánkového režimu takovým způsobem, abychom se naučili chodit spát a vstávat vždy ve stejnou dobu po většinu svých dní. Dalšími důležitými faktory jsou zde pravidelné denní cvičení, stravování (Wehrens et al., 2017), zdravé vztahy, kontrola stresu, ale také je potřeba dbát na příjem kofeinu a jiných látek. Doporučuje se začínat s kofeinem nejdříve hodinu po probuzení s poslední dávkou nejpozději 6 hodin před spaním (Drake et al., 2013). Existuje mnoho faktorů více či méně

ovlivňujících náš spánek – rozhodně by ale mělo být v zájmu každého jedince si co nejlépe uzpůsobit své prostředí a taky vědomě pozměnit své chování, které spánku, jakožto jednomu z nejsložitějších a nejdůležitějších procesů našeho organismu, může jenom pomoci.

Prostředí k zachování optimálního a kvalitního spánku by mělo zahrnovat tmavé a tiché prostředí, se spíše nižší teplotou. Veškerý hluk ve spánkovém prostředí by měl být snížen na hodnoty do maxima 35 dB, s optimální teplotou pohybující se v rozmezí 17-28 °C při relativní vlhkosti 40-60%. (Caddick et al., 2018).

Existuje několik národních a mezinárodních standardů souvisejících s expozicí vnitřnímu osvětlení v budovách, které byly vypracovány na základě přísných procesů, konsenzu a dalších kritérií. V oblasti biologické bezpečnosti existuje doporučená praxe pro fotobiologickou bezpečnost, která poskytuje pokyny týkající se zdraví očí a kůže v reakci na světelnou expozici z různých typů vnitřních lamp a lampových systémů. Mezinárodní komise pro neionizující záření (ICNIRP) rovněž vydala nedávné prohlášení o fotobiologické bezpečnosti, zejména o expozici světlu z LED (Karine, 2020). Ostatní existující směrnice, kódy a specifikace pro osvětlení v interiérech se především zaměřují na vizuální funkci, včetně vizuálního komfortu, vizuálního výkonu a bezpečného vidění pro lidi s normálním nebo korigovaným viděním. (Brown et al., 2022)

Doporučení k optimalizacím světelných zdrojů jsem převzala z 2. mezinárodní konference (2019) o cirkadiánní a neurofyziologické fotometrii, na níž se podíleli odborníci z oblasti osvětlení, neurofyziologické fotometrie, spánku a cirkadiánního výzkumu. Cílem konference bylo vypracování expertních doporučení pro zdravé denní a noční osvětlení, a to s využitím nového měřicího systému kompatibilního s Mezinárodním Systémem Jednotek (SI).

Konference měla za cíl vyjasnit role melanopického EDI ukazatel míry ovlivnění cirkadiánního rytmu) a účinků signálů z tyčinek a čípků ne vizuální zpracování světelného záření u lidí. Relevantní melanopické světlo během dne bylo stanoveno na EDI > 250 lux, ve večerních hodinách EDI < 10 lux a v prostředí spánku EDI < 1 lux (Brown, 2022). Tento proces vedl k vytvoření doporučení a zvažení týkajících se zdravého osvětlení. Ukazuje se, že zvýšená expozice světlu s vyšším melanopickým výstupem, může mít pozitivní účinky na naši bdělost, výkon a kvalitu spánku. Ukázalo se, že zvýšení melanopického výstupu

osvětlení v kancelářích, tedy zvýšení množství krátkovlnného světla, mělo pozitivní vliv na stav bdělosti, výkon, náladu i kvalitu spánku u participantů. Obdobné pozitivní účinky byly zaznamenány i při zvýšené expozici melanopického světla z přirozeného denního světla na pracovišti (Brown, 2022).

Vyšší expozice melanopickému světlu ve školách taktéž vede k lepšímu soustředění a porozumění učivu ve srovnání se standardním osvětlením. Je důležité zdůraznit, že nadměrná expozice světlu v noci může mít negativní dopady na kvalitu spánku a cirkadiánní fyziologii (Brown, 2022). Je stále zapotřebí provádět nové výzkumy, abychom lépe porozuměli vlivu expozice světlu na naše zdraví a spánek jak během dne, tak noci.

5.1.1 Vystavení se přirozenému světlu co nejdříve po probuzení

Velké množství lidí již automaticky sahá po svém telefonu jako první věci ihned po probuzení. Ačkoliv zařízení vydává určité množství světla, není dostatečně jasné na to, aby bylo schopno po probuzení správně nastartovat kortizol a vlastní biologický rytmus. Vystavení se slunečnímu záření brzy po probuzení je nejspíše nejsilnějším stimulem pro bdělost během dne a má také pozitivní vliv na schopnost usnout. Jedná se o významný nástroj k zajištění dobrého spánku. Expozice slunečnímu záření každé ráno považuje profesor A. Huberman (Huberman, 2024) za jedno z pěti nejdůležitějších aktivit pro podporu duševního zdraví, fyzického zdraví a výkonu.

K nejpřirozenějšímu seřízení a načasování cirkadiánního rytmu můžeme dosáhnout nejideálněji tímto bodem. Člověk by měl ideálně 30 až 60 minut po probuzení vyjít ven na sluneční světlo (případně balkon nebo otevřít okno), a to stejné znovu zopakovat i během odpoledne pro zvýšení bdělosti a pozornosti. Vystavit se slunečním paprskům co nejdříve po probuzení znamená dát tělu ten nejlepší časový signál, neboť buňky se svou 24h periodou tímto seřídí opět do pomyslné hodiny 1. Nejúčinnějším způsobem je sledovat horizont přímo ke slunci, ale pouze v případě, že není příliš vysoko a nesvítlí velmi jasně. Takováto expozice by mohla být pro oči bolestivá a tudíž i nebezpečná. Na ranní slunce se doporučuje nenosit sluneční brýle a zároveň je vhodné mít v případě potřeby kontaktní čočky nebo dioptrické brýle. Čočky zaostří světlo přímo do sítnice až na retinální gangliové buňky (ipRGCs). Ačkoliv můžeme umělým světlem nahrazovat světlo přirozené, vnitřní osvětlení obvykle

není dostatečně jasné, průměrně se pohybuje kolem 1000 lx a méně (Dautovich et al., 2019), zatímco u průměrného slunečného dne můžeme naměřit až 100 000 lx intenzity osvětlení, při vyšší oblačnosti kolem 5 000 lx.

U jasného počasí je dostačující vystavit se slunečnímu záření po dobu 5 minut, neboť se do organismu snáze a rychleji dostane velké množství fotonů. Pokud je nízká až střední oblačnost a slunce občasně prosvítá, ideální je vystavit se záření po dobu 10 minut. Při velmi silné oblačnosti a v deštivých dnech je ale nutné strávit venku delší dobu, udává se alespoň 20-30 minut pro nastartování správného spouštěcího mechanismu cirkadiálního rytmu. (Huberman, 2024)

Pokud jsme nuceni vstávat ještě před východem Slunce (např. v zimě nebo velmi brzy ráno), měli bychom se vystavit co nejjasnějšímu umělému osvětlení, svítícímu nejlépe z velké výšky, aby bylo světlo rozprostřeno pod co nejširším úhlem a my tak mohli skrze sítnici načerpat co nejvíce fotonů.

5.1.2 Denní osvětlení v interiérech (kanceláře, školy, pečovatelské domy,...)

Zvýšení melanopického výstupu umělého osvětlení prostřednictvím lamp s bohatým podílem krátkovlnného světla má příznivé účinky na subjektivní bdělost, výkon, náladu a kvalitu spánku. Podobně zvýšení denní melanopické expozice přirozeného denního světla na pracovišti vede ke zlepšení spánku a objektivně měřený kognitivní výkon u pracovníků v kancelářích. V těchto studiích byl průměrný melanopický EDI v kontrolovaném prostředí <150 lux, s experimentálními podmínkami zvyšujícími melanopický EDI na přibližně 170 až 290 lux. Tyto snadno dosažitelné úpravy zvýšením expozice světla mohou být spojeny s měřitelnými přínosy, aniž by se projevil pozorovatelné nepříznivé účinky. (Brown, 2022)

5.1.3 Světlo ve večerních hodinách (domácnosti a další vnitřní prostředí)

Večer, alespoň 3 hodiny před spaním, je doporučeno omezit intenzitu světla, které dopadá na oči na maximálně 10 luxů, měřených ve výšce očí přibližně 1,2 m nad zemí. K dosažení tohoto cíle je ideální, aby světlo bylo bílého spektra, ale s menším množstvím krátkých vln, na které reaguje právě melanopsin.

V prostorech kanceláří nebo jiných veřejných místech by také bylo vhodné zařadit takzvané dynamické osvětlovací systémy namísto statických. Tyto se během dne mění od chladného

světla k teplému a respektují tak náš cirkadiánní rytmus, zlepšují výkon a chrání oči. (Gomes and Preto, 2015)

5.1.4 Světlo v době spánku

Ideální prostředí pro spánek by mělo být obecně co nejtmavší, doporučená maximální melanopická EDI je 1 lux. Pokud některé činnosti během noci vyžadují vizuální vjemy, doporučuje se, aby maximální expozice melanopickému světlu byla 10 lux, měřeno u oka ve svislé rovině a ve výšce 1,2 m.

Závěr

Tato práce poskytuje stručný přehled dosavadních poznatků o funkci, fyziologii a problémech souvisejících se spánkem, cirkadiánními rytmy a přirozeným i umělým světlem. Na základě definice a popisu funkce spánku zde uvedených je zřejmé, že tento esenciální stav organismu představuje jeden z nejdůležitějších regeneračních procesů pro mozek i celé tělo. Je tedy zcela zásadní, abychom na tuto biologickou problematiku nahlíželi komplexně a snažili se o její optimální vyvážení ve prospěch našeho vlastního zdraví. Světlo má schopnost tyto biologické rytmy buď nastartovat a přirozeně srovnat, nebo je v nesprávný čas významně narušit. Dlouhodobá expozice světlu v nočních hodinách může přinášet četná zdravotní rizika pro organismus a může také podnítit či urychlit vznik některých onemocnění, jako jsou například karcinomy, diabetes nebo poruchy nálad. Z toho lze usuzovat, že modré světlo není ani svrchovaným požehnáním, ani prokletím, ale spíše něčím, co se musíme naučit vyvažovat a používat adekvátně, abychom chránili nejen své oči, ale celkový běh a zdraví organismu.

Desynchronizace cirkadiánních rytmů má významný vliv na celkový životní styl, často narušuje denní režimy jako je stravování, fyzická aktivita či sociální interakce. Umělé osvětlení zároveň velmi ovlivňuje environmentální prostředí a biologické rytmy zvířat a rostlin, jejichž cirkadiánní rytmizace je zcela závislá na přirozeném střídání světla a tmy. V této oblasti však zatím nemáme dostatek přímých důkazů popisujících behaviorální nebo fyziologické změny u živočichů. Relevantní studie vyžadují značné množství času k prokázání i minimálních změn vlivu světla na spánek a cirkadiánní rytmy, což v současné době limituje snahu společnosti o podchycení a řešení potenciálních úskalí, která by mohla lépe podpořit zdraví spánku.

Považuji za problém především omezenou podporu pro jednotlivá doporučení ke správné spánkové hygieně u dospělé populace, což vyvolává potřebu dalšího podrobného zkoumání a rozšíření současného poznání v této oblasti. Pozitivní změnou, kterou jsme však schopni učinit prakticky hned, je zavedení systematické edukace o spánkové hygieně. Tato strategie

má potenciál stát se klíčovou pro zlepšení spánku u veřejnosti, přičemž budoucí výzkum může přinést další poznatky o její efektivitě a využitelnosti.

Zatím však byla většina výzkumu soustředěna na extrémní situace v laboratorních podmínkách, a proto není zcela jasné, jak se tato doporučení uplatňují v reálném životě. Je tedy zásadní, aby se jedinci informovali o možných důsledcích modifikací různých aspektů svého chování v rámci spánku a měli k dispozici jasné směrnice, které jim pomohou v tomto komplexním procesu.

Komplexní přístup ke vzdělávání o hygieně spánku by měl zahrnovat i další aspekty životního stylu, které mohou spánek ovlivňovat, jako je užívání přípravků na spaní a používání elektronických zařízení, a to především u dětí. Studie zahrnuté v této práci poukazují na to, že umělé osvětlení a jeho modrá složka nemusí nutně působit na lidskou fyziologii pouze negativně. Jejich účinky se totiž mohou využívat v léčbě spánkových poruch a poruch nálad, ale také při nedostatku slunečního záření v určitých geografických polohách či ročních obdobích. Negativní dopady umělého osvětlení pocítujeme především tehdy, když k expozici dochází ve večerních a nočních hodinách, kdy i minimální množství a intenzita osvětlení může narušit vyplavování melatoninu. Při dlouhodobé a pravidelné noční expozici světlu může navíc dojít k úplné desynchronizaci cirkadiánního rytmu. Klíčovým poznáním pro optimální fungování biologických rytmů je včasná ranní expozice slunečnímu světlu, neboť skrze sítnici oka proniká mnohem více luxů než při umělém osvětlení. Jde o ideální způsob, jak efektivně seřizovat náš vnitřní rytmus.

Tato práce se snaží na tyto skutečnosti poukázat a navrhuje možná přizpůsobení optimalizace světelných podmínek ke zlepšení funkce cirkadiánního rytmu a s tím spojeného spánku.

Seznam použitých informačních zdrojů

- AARTS, Mariëlle PJ; SCHOUTENS, A. M. C.; STAPEL, Janny C. Natural light exposure, healthy elderly people and sleep: a field study. In: Proceedings of the 2nd CIE Expert Symposium on Lighting and Health. 2006.
- AMARAL, Fernanda Gaspar Do and José CIPOLLA-NETO, 2018. A brief review about melatonin, a pineal hormone. *Archives of Endocrinology and Metabolism* [online]. **62**(4), 472–479. Available at: doi:10.20945/2359-3997000000066
- ARENDT, Joséphine, 2006. Melatonin and human rhythms. *Chronobiology International* [online]. **23**(1–2), 21–37. Available at: doi:10.1080/07420520500464361
- AUBÉ, Martin, Johanne ROBY and Miroslav KOCIFAJ, 2013d. Evaluating potential spectral impacts of various artificial lights on melatonin suppression, photosynthesis, and star visibility. *PLOS ONE* [online]. **8**(7), e67798. Available at: doi:10.1371/journal.pone.0067798
- AULSEBROOK, Anne E., Thérésa M. JONES, Raoul A. MULDER and John A. LESKU, 2018b. Impacts of artificial light at night on sleep: A review and prospectus. *Journal of Experimental Zoology. Part a, Ecological and Integrative Physiology*[online]. **329**(8–9), 409–418. Available at: doi:10.1002/jez.2189
- BLUMBERG, Mark S., John A. LESKU, Paul-Antoine LIBOUREL, Markus H. SCHMIDT and Niels Christian RATTENBORG, 2020. What is REM sleep? *Current Biology* [online]. **30**(1), R38–R49. Available at: doi:10.1016/j.cub.2019.11.045
- BLUME, Christine, Corrado GARBAZZA and Manuel SPITSCHAN, 2019a. Auswirkungen von Licht auf zirkadiane Rhythmen, Schlaf und die Stimmung bei

- Menschen. *Somnologie (Berlin. Print)* [online]. **23**(3), 147–156. Available at: doi:10.1007/s11818-019-00215-x
- BONMATÍ-CARRIÓN, María Ángeles, Raquel ARGÜELLES-PRIETO, María José MARTÍNEZ-MADRID, Russel J. REÍTER, Ruediger HARDELAND, María Ángeles ROL and Juan Antonio MADRID, 2014. Protecting the Melatonin Rhythm through Circadian Healthy Light Exposure. *International Journal of Molecular Sciences* [online]. **15**(12), 23448–23500. Available at: doi:10.3390/ijms151223448
- BRAINARD, George C., John P. HANIFIN, Jeffrey M. GREESON, Brenda BYRNE, Gena GLICKMAN, Edward W. GERNER and Mark D. ROLLAG, 2001. Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor. *The Journal of Neuroscience* [online]. **21**(16), 6405–6412. Available at: doi:10.1523/jneurosci.21-16-06405.2001
- BROWN, T. M., 2020. Melanopic illuminance defines the magnitude of human circadian light responses under a wide range of conditions. *Journal of Pineal Research* [online]. **69**(1). Available at: doi:10.1111/jpi.12655
- BROWN, T. M., George C. BRAINARD, Christian CAJOCHEN, Charles A. CZEISLER, John P. HANIFIN, Steven W. LOCKLEY, Robert J. LUCAS, Mirjam MÜNCH, John O’HAGAN, Stuart N. PEIRSON, Luke PRICE, Till ROENNEBERG, Luc J. M. SCHLANGEN, Debra J. SKENE, Manuel SPITSCHAN, Céline VETTER, Phyllis C. ZEE and Kenneth P. WRIGHT, 2022c. Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLoS Biology* [online]. **20**(3), e3001571. Available at: doi:10.1371/journal.pbio.3001571
- BRUNO, Claudio and J. LESTON, 2015b. Melatonin: Physiological effects in humans. *Neurochirurgie* [online]. **61**(2–3), 77–84. Available at: doi:10.1016/j.neuchi.2015.03.002

- BRZEZINSKI, Amnon, 1997. Melatonin in humans. *The New England Journal of Medicine (Print)* [online]. **336**(3), 186–195. Available at: doi:10.1056/nejm199701163360306
- CADDICK, Zachary A., Kevin B. GREGORY, Lucia ARSINTESCU and Erin E. FLYNN-EVANS, 2018. A review of the environmental parameters necessary for an optimal sleep environment. *Building and Environment* [online]. **132**, 11–20. Available at: doi:10.1016/j.buildenv.2018.01.020
- CAJOCHEN, Christian, Marlène FREYBURGER, Tamar BASISHVILI, Corrado GARBAZZA, Franziska RUDZIK, Claudia RENZ, Kinji KOBAYASHI, Yasuhiro SHIRAKAWA, Oliver STEFANI and Janine WEIBEL, 2019. Effect of daylight LED on visual comfort, melatonin, mood, waking performance and sleep. *Lighting Research & Technology* [online]. **51**(7), 1044–1062. Available at: doi:10.1177/1477153519828419
- CAJOCHEN, Christian, Mirjam MÜNCH, Szymon KOBIALKA, Kurt KRÄUCHI, Roland STEINER, P. OELHAFEN, Selim ORGÜL and Anna WIRZ-JUSTICE, 2005. High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism/Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* [online]. **90**(3), 1311–1316. Available at: doi:10.1210/jc.2004-0957
- CAMPBELL, Philip D., Ann L. MILLER and Mary E. WOESNER, 2017. Bright Light Therapy: Seasonal Affective Disorder and beyond. *PubMed* [online]. **32**, E13–E25. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31528147>
- CARLEY, David W. and Sarah S. FARABI, 2016c. Physiology of sleep. *Diabetes Spectrum* [online]. **29**(1), 5–9. Available at: doi:10.2337/diaspect.29.1.5
- CARLEY, David W. and Sarah S. FARABI, 2016d. Physiology of sleep. *Diabetes Spectrum* [online]. **29**(1), 5–9. Available at: doi:10.2337/diaspect.29.1.5

- CARSKADON, Mary A., et al., 2005. Normal human sleep: an overview. *Principles and practice of sleep medicine*, 4.1: 13-23.
- DAUTOVICH, Natalie D., Dana R SCHREIBER, Janna L IMEL, Caitlan A. TIGHE, Kristy D. SHOJI, John CYRUS, Nita BRYANT, Andrew LISECH, Chris O'BRIEN and Joseph M. DZIERZEWSKI, 2019. A systematic review of the amount and timing of light in association with objective and subjective sleep outcomes in community-dwelling adults. *Sleep Health* [online]. **5**(1), 31–48. Available at: doi:10.1016/j.sleh.2018.09.006
- DEMENT, William C., 2005. History of sleep medicine. *Neurologic Clinics* [online]. **23**(4), 945–965. Available at: doi:10.1016/j.ncl.2005.07.001
- DIEKELMANN, Susanne and Jan BORN, 2010. The memory function of sleep. *Nature Reviews. Neuroscience (Print)* [online]. **11**(2), 114–126. Available at: doi:10.1038/nrn2762
- DRAKE, Christopher L., Timothy ROEHRS, John R. SHAMBROOM and Thomas ROTH, 2013. Caffeine Effects on Sleep Taken 0, 3, or 6 Hours before Going to Bed. *Journal of Clinical Sleep Medicine* [online]. **09**(11), 1195–1200. Available at: doi:10.5664/jcsm.3170
- DUMONT, Marie and Clermont BEAULIEU, 2007. Light exposure in the natural environment: Relevance to mood and sleep disorders. *Sleep Medicine* [online]. **8**(6), 557–565. Available at: doi:10.1016/j.sleep.2006.11.008
- ELDER, Greg J., Mark WETHERELL, Nicola L. BARCLAY and Jason ELLIS, 2014. The cortisol awakening response – Applications and implications for sleep medicine. *Sleep Medicine Reviews* [online]. **18**(3), 215–224. Available at: doi:10.1016/j.smr.2013.05.001
- FÁRKOVÁ, Eva, 2019. Chronotypy – fenomén moderní doby. www.ziva.avcr.cz [online]. [accessed. 2024-02-21]. Available at: <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/chronotypy-fenomen-moderni-doby.pdf>

- FINGER, Anna-Marie and Achim KRAMER, 2020. Mammalian circadian systems: Organization and modern life challenges. *Acta Physiologica* [online]. **231**(3). Available at: doi:10.1111/apha.13548
- FOSTER, Russell G. and Leon KREITZMAN, 2013. The rhythms of life: what your body clock means to you! *Experimental Physiology* [online]. **99**(4), 599–606. Available at: doi:10.1113/expphysiol.2012.071118
- FRANK, Marcos G. and H. Craig HELLER, 2018. The Function(s) of Sleep. In: *Handbook of experimental pharmacology*[online]. p. 3–34. Available at: doi:10.1007/164_2018_140
- FULLER, Patrick M., Joshua J. GOOLEY and Clifford B. SAPER, 2006b. Neurobiology of the Sleep-Wake Cycle: sleep architecture, circadian regulation, and regulatory feedback. *Journal of Biological Rhythms* [online]. **21**(6), 482–493. Available at: doi:10.1177/0748730406294627
- GAMMACK, Julie K. and Julie M. BURKE, 2009. Natural light exposure improves subjective sleep quality in nursing home residents. *Journal of the American Medical Directors Association* [online]. **10**(6), 440–441. Available at: doi:10.1016/j.jamda.2009.03.012
- GARCÍA-SAENZ, Ariadna, Alejandro Sánchez DE MIGUEL, Ana ESPINOSA, Antònia VALENTÍN, Núria ARAGONÉS, Javier LLORCA, Pilar AMIANO, Vicente Martín SÁNCHEZ, Marcela GUEVARA, Rocío CAPELO, Adonina TARDÓN, R PEIRÓ-PÉREZ, José Juan JIMÉNEZ-MOLEÓN, Aina ROCA-BARCELÓ, Beatriz PÉREZ-GÓMEZ, Trinidad DIERSEN-SOTOS, Tania FERNÁNDEZ-VILLA, Conchi MORENO-IRIBAS, VíCtor MORENO, Javier GARCÍA-PÉREZ, Gemma CASTAÑO-VINYALS, Marina POLLÁN, Vicente MARTÍN and Manolis KOGEVINAS, 2018. Evaluating the Association between Artificial Light-at-Night Exposure and Breast and Prostate Cancer Risk in Spain (MCC-Spain

- Study). *Environmental Health Perspectives* [online]. **126**(4). Available at: doi:10.1289/ehp1837
- GASTON, Kevin J., Marcel E. VISSER and Franz HÖLKER, 2015. The biological impacts of artificial light at night: the research challenge. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* [online]. **370**(1667), 20140133. Available at: doi:10.1098/rstb.2014.0133
- GASTON, Kevin J., Thomas W. DAVIES, Sophie L. NEDELEC and Lauren HOLT, 2017. Impacts of artificial light at night on biological timings. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* [online]. **48**(1), 49–68. Available at: doi:10.1146/annurev-ecolsys-110316-022745
- GERKEMA, Menno P., 2002b. Ultradian Rhythms. In: *Springer eBooks* [online]. p. 207–215. Available at: doi:10.1007/978-3-662-06085-8_17
- GOMES, Cristina Caramelo and Sandra PRETO, 2015. Blue Light: a blessing or a curse? *Procedia Manufacturing* [online]. **3**, 4472–4479. Available at: doi:10.1016/j.promfg.2015.07.459
- GREEN, Amit, Mairav COHEN-ZION, Abraham HAIM and Yaron DAGAN, 2017b. Evening light exposure to computer screens disrupts human sleep, biological rhythms, and attention abilities. *Chronobiology International* [online]. **34**(7), 855–865. Available at: doi:10.1080/07420528.2017.1324878
- HAGEN, Oskar, Raphael Machado SANTOS, Marcelo Nivert SCHLINDWEIN and Vadim R. VIVIANI, 2015b. Artificial night lighting reduces firefly (Coleoptera: lampyridae) occurrence in Sorocaba, Brazil. *Advances in Entomology (Print)*[online]. **03**(01), 24–32. Available at: doi:10.4236/ae.2015.31004
- HALE, Lauren, Wendy TROXEL and Daniel J. BUYSSE, 2020. Sleep Health: An opportunity for public health to address health equity. *Annual Review of Public*

Health (Print) [online]. **41**(1), 81–99. Available at: doi:10.1146/annurev-publhealth-040119-094412

HALLMANN, Caspar A., Martin SORG, Eelke JONGEJANS, H. SIEPEL, Nick HOFLAND, Heinz SCHWAN, Werner STENMANS, Andreas MÜLLER, Hubert SUMSER, Thomas HÖRREN, Dave GOULSON and Hans DE KROON, 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS One* [online]. **12**(10), e0185809. Available at: doi:10.1371/journal.pone.0185809

HANSEN, Johnni, 2001. Light at night, shiftwork, and breast cancer risk. *Journal of the National Cancer Institute (Print)*[online]. **93**(20), 1513–1515. Available at: doi:10.1093/jnci/93.20.1513

HARVARD HEALTH, 2020. Blue light has a dark side. *Harvard Health* [online]. Available at: <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/blue-light-has-a-dark-side>

HÖLKER, Franz, Christian WOLTER, Elizabeth K. PERKIN and Klement TOCKNER, 2010a. Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution* [online]. **25**(12), 681–682. Available at: doi:10.1016/j.tree.2010.09.007

HUBERMAN, Andrew, 2024. Using light for health. *Huberman Lab* [online]. Available at: <https://www.hubermanlab.com/newsletter/using-light-for-health>

CHANG, Anne Marie, Frank A.J.L. SCHEER and Charles A. CZEISLER, 2011a. The human circadian system adapts to prior photic history. *Journal of Physiology* [online]. **589**(5), 1095–1102. Available at: doi:10.1113/jphysiol.2010.201194

- CHEPESIUK, Ron, 2009. Missing the Dark: Health effects of light pollution. *Environmental Health Perspectives* [online]. **117**(1). Available at: doi:10.1289/ehp.117-a20
- ICNIRP, 2020. Light-Emitting Diodes (LEDS): Implications for safety. *Health Physics (1958)* [online]. **118**(5), 549–561. Available at: doi:10.1097/hp.0000000000001259
- ILLNEROVÁ, Helena and J VANĚCEK, 1980b. Pineal Rhythm in N-Acetyltransferase Activity in Rats under Different Artificial Photoperiods and in Natural Daylight in the Course of a Year. *Neuroendocrinology* [online]. **31**(5), 321–326. Available at: doi:10.1159/000123095
- ILLNEROVÁ, Helena, 2016. Co je nového v biologii Časový cirkadiánní systém, spánek a kofein – jak se vzájemně ovlivňují? *Živa*. Roč. 2016, č. 3, s. 102-103. ISSN 0044-4812.
- ILLNEROVÁ., Helena, 1996. Melatonin a jeho působení. *Časopis Vesmír* [online]. Available at: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/1996/cislo-5/melatonin-jeho-pusobeni.html>
- JAFARI, Behrouz, 2017. Sleep architecture and blood pressure. *Sleep Medicine Clinics* [online]. **12**(2), 161–166. Available at: doi:10.1016/j.jsmc.2017.02.003
- KAIDA, Kosuke, Masaya TAKAHASHI, Takashi HARATANI, Yasumasa OTSUKA, Kenji FUKASAWA and Akinori NAKATA, 2006. Indoor exposure to natural bright light prevents afternoon sleepiness. *Sleep* [online]. **29**(4), 462–469. Available at: doi:10.1093/sleep/29.4.462
- KARINE, 2020. *ICNIRP | LED* [online]. Available at: <https://www.icnirp.org/en/applications/led/index.html>
- KITZLEROVÁ, Eva, Martin Anders. Vztah cirkadiánních a sociálních rytmů k poruchám nálady. *Česká a slovenská psychiatrie*. Praha: Psychiatrická klinika 1. LF UK a VFN, 2011, roč. 107, č. 2, s. 94–98. ISSN 1213-2410.

- KORCZAK, Anna Ligia, Bruno Jacson MARTYNHAK, Mário PEDRAZZOLI, Alexandra BRITO and Fernando Mazzilli LOUZADA, 2008b. Influence of chronotype and social zeitgebers on sleep/wake patterns. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* [online]. **41**(10), 914–919. Available at: doi:10.1590/s0100-879x2008005000047
- KRUEGER, James M., 2003. Sleep function. *Frontiers in Bioscience* [online]. **8**(4), d511-519. Available at: doi:10.2741/1031
- KULVE, Marije Te, Luc J. M. SCHLANGEN and Wouter D. VAN MARKEN LICHTENBELT, 2019. Early evening light mitigates sleep compromising physiological and alerting responses to subsequent late evening light. *Scientific Reports (Nature Publishing Group)* [online]. **9**(1). Available at: doi:10.1038/s41598-019-52352-w
- MAQUET, Pierre, 2001. The role of sleep in learning and memory. *Science* [online]. **294**(5544), 1048–1052. Available at: doi:10.1126/science.1062856
- MATTSSON, M.O., Taeho JUNG, A. PROYKOVA, Francine BEHAR-COHEN, Georges ZISSIS, Frank DE GRUIJL, J. FERGUSON, John H. L. HANSEN and Harry MOSELEY, 2012. *Health effects of artificial light* [online]. Available at: doi:10.2772/8624
- MCFADDEN, E. R., 1988. Circadian rhythms. *The American Journal of Medicine* [online]. **85**(1), 2–5. Available at: doi:10.1016/0002-9343(88)90230-6
- MEDDIS, Ray, 1975. On the function of sleep. *Animal Behaviour (Print)* [online]. **23**, 676–691. Available at: doi:10.1016/0003-3472(75)90144-x

- MIROSLAV, Orel, 2019. *Anatomie a fyziologie lidského těla: Pro humanitní obory*. B.m.: Grada Publishing a.s.
- MONTARULI, A., Lucia CASTELLI, Antonino MULÈ, Raffaele SCURATI, Fabio ESPOSITO, Letizia GALASSO and Eliana ROVEDA, 2021. Biological Rhythm and Chronotype: New Perspectives in health. *Biomolecules* [online]. **11**(4), 487. Available at: doi:10.3390/biom11040487
- MORRIS, Christopher J., Daniel AESCHBACH and Frank A.J.L. SCHEER, 2012. Circadian system, sleep and endocrinology. *Molecular and Cellular Endocrinology (Print)* [online]. **349**(1), 91–104. Available at: doi:10.1016/j.mce.2011.09.003
- MOUREK, Jindřich, 2005. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. B.m.: Grada Publishing a.s.
- MOUREK, Jindřich, 2012. *Fyziologie: učebnice pro studenty zdravotnických oborů*, 2. doplněné vydání. B.m.: Grada Publishing a.s.
- NEVŠÍMALOVÁ, Soňa, Jiří TICHÝ a Evžen RŮŽIČKA. *Neurologie*. Praha: Galén, 2002. ISBN 80-246-0502-3.
- OLIVOVÁ, Jana, 2017. Nobelovy Ceny 2017 - Akademie Věd České republiky. *www.avcr.cz* [online]. Available at: <https://www.avcr.cz/cs/onas/aktuality/Nobelovy-ceny-2017>
- OSWALD, Ian, 1976. The function of sleep. *Postgraduate Medical Journal* [online]. **52**(603), 15–18. Available at: doi:10.1136/pgmj.52.603.15
- OUYANG, Xinli, Jing YANG, Zexin HONG, Yide WU, Yongfang XIE and Guohui WANG, 2020. Mechanisms of blue light-induced eye hazard and protective

- measures: a review. *Biomedicine & Pharmacotherapy* [online]. **130**, 110577.
Available at: doi:10.1016/j.biopha.2020.110577
- PATEL, Aakash K., Vamsi REDDY, Karlie R. SHUMWAY and John F. ARAUJO, 2024c.
Physiology, sleep stages. *StatPearls - NCBI Bookshelf* [online]. Available
at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526132/>
- RASCH, Björn and Jan BORN, 2013b. About sleep's role in memory. *Physiological
Reviews* [online]. **93**(2), 681–766. Available at: doi:10.1152/physrev.00032.2012
- RICHARDSON, Gary S., 2005. The human circadian system in normal and disordered
sleep. *PubMed* [online]. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16336035/>
- ROECKLEIN, Kathryn A., Patricia WONG, Megan M. MILLER, Shannon D.
DONOFRY, Marissa L. KAMARCK and George C. BRAINARD, 2013.
Melanopsin, photosensitive ganglion cells, and seasonal affective
disorder. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews/Neuroscience and Biobehavioral
Reviews* [online]. **37**(3), 229–239. Available
at: doi:10.1016/j.neubiorev.2012.12.009
- ROSENWASSER, Alan M. and Fred W. TUREK, 2015. Neurobiology of Circadian
rhythm Regulation. *Sleep Medicine Clinics*[online]. **10**(4), 403–412. Available
at: doi:10.1016/j.jsmc.2015.08.003
- SANTHI, Nayantara and Danny M BALL, 2020. Applications in sleep: How light affects
sleep. In: *Progress in brain research*[online]. p. 17–24. Available
at: doi:10.1016/bs.pbr.2020.05.029
- SCHIBLER, Ueli, 2005c. The daily rhythms of genes, cells and organs. *EMBO
Reports* [online]. **6**(S1). Available at: doi:10.1038/sj.embor.7400424
- SCHIBLER, Ueli, 2005d. The daily rhythms of genes, cells and organs. *EMBO
Reports* [online]. **6**(S1). Available at: doi:10.1038/sj.embor.7400424

- SCHÖNAUER, Monika and Dorothee PÖHLCHEN, 2018c. Sleep spindles. *Current Biology* [online]. **28**(19), R1129–R1130. Available at: doi:10.1016/j.cub.2018.07.035
- SOUMAN, Jan L., Angelica M. TINGA, Susan F. Te PAS, Raymond VAN EE and Björn N. S. VLASKAMP, 2018. Acute alerting effects of light: A systematic literature review. *Behavioural Brain Research* [online]. **337**, 228–239. Available at: doi:10.1016/j.bbr.2017.09.016
- STEPTOE, Andrew, 2016. Cortisol awakening response. In: *Elsevier eBooks* [online]. p. 277–283. Available at: doi:10.1016/b978-0-12-800951-2.00034-0
- STEVENS, Richard G., 2006c. Artificial lighting in the industrialized world: circadian disruption and breast cancer. *CCC. Cancer Causes & Control/CCC, Cancer Causes & Control* [online]. **17**(4), 501–507. Available at: doi:10.1007/s10552-005-9001-x
- STICKGOLD, Robert, J. Allan HOBSON, Roar FOSSE and Magdalena J. FOSSE, 2001. Sleep, learning, and dreams: Off-line memory reprocessing. *Science* [online]. **294**(5544), 1052–1057. Available at: doi:10.1126/science.1063530
- ŠTĚPANYOVÁ, Gabriela, 2019. Modré světlo negativně ovlivňuje kvalitu spánku, odborníci doporučují dodržovat pravidla spánkové hygieny. *www.svetelneznecisten.cz* [online]. Available at: http://svetelneznecisten.cz/wp-content/uploads/2019/03/2019-03-15_TZ_Svetovy_den_spanku.pdf

- TÄHKÄMÖ, Leena, Timo PARTONEN and Anu-Katriina PESONEN, 2018. Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm. *Chronobiology International* [online]. **36**(2), 151–170. Available at: doi:10.1080/07420528.2018.1527773
- TOSINI, Gianluca, 2016. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Molecular Vision* [online]. 61–72. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4734149/>
- TRI, Michael H., 2019. Melanopsin and the intrinsically photosensitive retinal ganglion cells: Biophysics to behavior. *Neuron (Cambridge, Mass.)* [online]. **104**(2), 205–226. Available at: doi:10.1016/j.neuron.2019.07.016
- VOSS, Ursula, 2004b. Functions of sleep architecture and the concept of protective fields. *Reviews in the Neurosciences* [online]. **15**(1). Available at: doi:10.1515/revneuro.2004.15.1.33
- VYAZOVSKIY, Vladyslav V. and Ugo FARAGUNA, 2014. Sleep and synaptic homeostasis. In: *Current topics in behavioral neurosciences* [online]. p. 91–121. Available at: doi:10.1007/7854_2014_301
- WEHRENS, Sophie M T, Skevoulla CHRISTOU, Cheryl ISHERWOOD, Benita MIDDLETON, M. GIBBS, Simon N. ARCHER, Debra J. SKENE and Jeanne D. JOHNSTON, 2017. Meal timing regulates the human circadian system. *Current Biology* [online]. **27**(12), 1768-1775.e3. Available at: doi:10.1016/j.cub.2017.04.059
- WEST, Kathleen E., Michael JABLONSKI, Benjamin WARFIELD, Kate S. CECIL, Mary E. JAMES, Melissa A. AYERS, James C. MAIDA, Charles BOWEN, David H. SLINEY, Mark D. ROLLAG, John P. HANIFIN and George C. BRAINARD, 2011. Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of

- melatonin in humans. *Journal of Applied Physiology* [online]. **110**(3), 619–626.
Available at: doi:10.1152/jappphysiol.01413.2009
- WIECHMANN, Allan F. and David M. SHERRY, 2013. Role of Melatonin and its Receptors in the Vertebrate Retina. In: *International Review of Cell and Molecular Biology* [online]. p. 211–242. Available at: doi:10.1016/b978-0-12-405210-9.00006-0
- WIRZ-JUSTICE, Anna, Debra J. SKENE and Mirjam MÜNCH, 2020. The relevance of daylight for humans. *Biochemical Pharmacology* [online]. 114304. Available at: doi:10.1016/j.bcp.2020.114304
- WITTMANN, Marc, Jenny DINICH, Martha MERROW and Till ROENNEBERG, 2006. Social jetlag: misalignment of biological and social time. *Chronobiology International* [online]. **23**(1–2), 497–509. Available at: doi:10.1080/07420520500545979
- YAN, Lili, 2009. Expression of clock genes in the suprachiasmatic nucleus: Effect of environmental lighting conditions. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders* [online]. **10**(4), 301–310. Available at: doi:10.1007/s11154-009-9121-9
- ZIELIŃSKA-DABKOWSKA, Karolina M., 2018. Make lighting healthier. *Nature (London)* [online]. **553**(7688), 274–276. Available at: doi:10.1038/d41586-018-00568-7

Seznam příloh

Příloha 1: Dotazník MEQ (Morningness-Eveningness Questionnaire)

SHAHID, Azmeh, Kate WILKINSON, Shai MARCU and Colin M. SHAPIRO, 2011.

Morningness-Eveningness questionnaire. In: *Springer eBooks* [online]. p. 231–234.

Available at: doi:10.1007/978-1-4419-9893-4_54

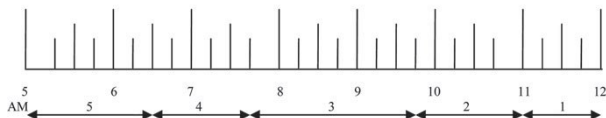
Morningness-Eveningness Questionnaire

Instructions:

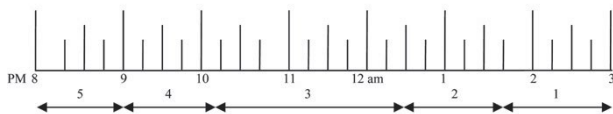
1. Please read each question very carefully before answering.
2. Answer ALL questions
3. Answer questions in numerical order.
4. Each question should be answered independently of others. Do NOT go back and check your answers.
5. All questions have a selection of answers. For each question place a cross alongside ONE answer only. Some questions have a scale instead of a selection of answers. Place a cross at the appropriate point along the scale.
6. Please answer each question as honestly as possible. Both your answers and the results will be kept, in strict confidence.
7. Please feel free to make any comments in the section provided below each question.

The Questionnaire with scores for each choice

1. Considering only your own "feeling best" rhythm, at what time would you get up if you were entirely free to plan your day?



2. Considering only your own "feeling best" rhythm, at what time would you go to bed if you were entirely free to plan your evening?



3. If there is a specific time at which you have to get up in the morning, to what extent are you dependent on being woken up by an alarm clock?

- Not at all dependent 4
- Slightly dependent 3
- Fairly dependent 2
- Very dependent 1

4. Assuming adequate environmental conditions, how easy do you find getting up in the mornings?

- Not at all easy 1
- Not very easy 2
- Fairly easy 3
- Very easy 4

5. How alert do you feel during the first half hour after having woken in the mornings?

- Not at all alert 1
- Slightly alert 2
- Fairly alert 3
- Very alert 4

6. How is your appetite during the first half-hour after having woken in the mornings?

- Very poor 1
- Fairly poor 2
- Fairly good 3
- Very good 4

7. During the first half-hour after having woken in the morning, how tired do you feel?

- Very tired 1
- Fairly tired 2
- Fairly refreshed 3
- Very refreshed 4

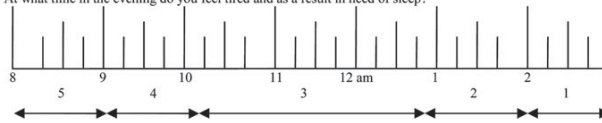
8. When you have no commitments the next day, at what time do you go to bed compared to your usual bedtime?

- Seldom or never later 4
- Less than one hour later 3
- 1-2 hours later 2
- More than two hours later 1

9. You have decided to engage in some physical exercise. A friend suggests that you do this one hour twice a week and the best time for him is between 7:00-8:00 a.m. Bearing in mind nothing else but your own "feeling best" rhythm, how do you think you would perform?

- Would be on good form 4
- Would be on reasonable form 3
- Would find it difficult 2
- Would find it very difficult 1

10. At what time in the evening do you feel tired and as a result in need of sleep?



11. You wish to be at your peak performance for a test which you know is going to be mentally exhausting and lasting for two hours. You are entirely free to plan your day and considering only your own "feeling best" rhythm which ONE of the four testing times would you choose?

- 8:00-10:00 a.m. 6
- 11:00 a.m.-1:00 p.m. 4
- 3:00-5:00 p.m. 2
- 7:00-9:00 p.m. 0

12. If you went to bed at 11 p.m. at what level of tiredness would you be?

- Not at all tired 0
- A little tired 2
- Fairly tired 3
- Very tired 5

13. For some reason you have gone to bed several hours later than usual, but there is no need to get up at any particular time the next morning. Which ONE of the following events are you most likely to experience?

- Will wake up at usual time and will NOT fall asleep 4
- Will wake up at usual time and will doze thereafter 3
- Will wake up at usual time but will fall asleep again 2
- Will NOT wake up until later than usual 1

14. One night you have to remain awake between 4-6 a.m. in order to carry out a night watch. You have no commitments the next day. Which ONE of the following alternatives will suit you best?

- Would NOT go to bed until watch was over 1
- Would take a nap before and sleep after 2
- Would take a good sleep before and nap after 3
- Would take ALL sleep before watch 4

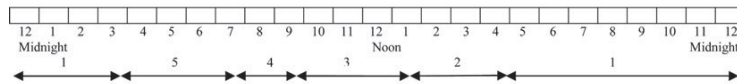
15. You have to do two hours of hard physical work. You are entirely free to plan your day and considering only your own "feeling best" rhythm which ONE of the following times would you choose?

- 8:00-10:00 a.m. 4
- 11:00 a.m.-1:00 p.m. 3
- 3:00-5:00 p.m. 2
- 7:00-9:00 p.m. 1

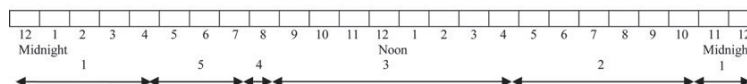
16. You have decide to engage in hard physical exercise. A friend suggests that you do this for one hour twice a week and the best time for him is between 10-11 p.m. Bearing in mind nothing else but your own "feeling best" rhythm how well do you think you would perform?

- Would be on good form 1
- Would be on reasonable form 2
- Would find it difficult 3
- Would find if very difficult 4

17. Suppose that you can choose your own work hours. Assume that you worked a FIVE hour day (including breaks) and that your job was interesting and paid by results. Which FIVE CONSECUTIVE HOURS would you select?



18. At what time of the day do you think that you reach your "feeling best" peak?



19. One hears about "morning" and "evening" types of people. Which ONE of these types do you consider yourself to be?

- Definitely a "morning" type 6
- Rather more a "morning" than an evening type 4
- Rather more an "evening" than a "morning" type 2
- Definitely an "evening" type 0

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Záznam EEG během první hodiny spánku

PURVES, Dale, George J AUGUSTINE, David FITZPATRICK, Lawrence C KATZ, Anthony-Samuel LAMANTIA, James O MCNAMARA and S Mark WILLIAMS, 2001. Stages of sleep. *Neuroscience - NCBI Bookshelf* [online]. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10996/>

Obrázek č. 2: Vstupní a výstupní dráhy do a ze suprachiasmatického jádra

BLUME, Christine, Corrado GARBAZZA and Manuel SPITSCHAN, 2019a. Auswirkungen von Licht auf zirkadiane Rhythmen, Schlaf und die Stimmung bei Menschen. *Somnologie (Berlin. Print)* [online]. **23**(3), 147–156. Available at: doi:10.1007/s11818-019-00215-x

Obrázek č. 3: Absorpce a přenos slunečního záření v oku

GOMES, Cristina Caramelo and Sandra PRETO, 2015b. Blue Light: a blessing or a curse? *Procedia Manufacturing* [online]. **3**, 4472–4479. Available at: doi:10.1016/j.promfg.2015.07.459

Obrázek č. 4: Jak umělé osvětlení v noci může ovlivňovat přírodu kolem silnic a zemědělské ekosystémy

GRUBISIĆ, Maja, Roy H. A. VAN GRUNSVEN, Christopher C. M. KYBA, Alessandro MANFRIN and Franz HÖLKER, 2018. Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter? *Annals of Applied Biology* [online]. **173**(2), 180–189. Available at: doi:10.1111/aab.12440