

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 6: Zdravotnictví

Vliv modré spektrální složky světla na usínání a spánek člověka

**Vít Pavlík
Kraj Vysočina**

Havlíčkův Brod 2021

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 6: Zdravotnictví

Vliv modré spektrální složky světla na usínání a spánek člověka

Effect of the blue spectral component of light on human falling asleep and sleep

Autor: Vít Pavlík

Škola: Gymnázium Havlíčkův Brod, Štáflova 2063, 580 01
Havlíčkův Brod

Kraj: Kraj Vysočina

Konzultant: RNDr. Milan Zimpl, Ph.D.

Havlíčkův Brod 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Havlíčkově Brodě dne 15. 3. 2020

Poděkování

Rád bych na těchto řádcích vyjádřil velké díky vedoucímu mé práce, panu doktoru Zimplovi. Velice si vážím jeho otevřené mysli. Čekal jsem spíš odmítnutí se slovy: „Práci bych rád dozoroval, ale.“ To zrádné slovo „ale“ naštěstí nepřišlo. Po celou dobu práce mě nechal dělat to, co umím nejlépe, nahlížet na problémy vlastní perspektivou, a nehnal mě do přehnaných plánů. Pan doktor Zimpl mi tak dopřál svobody myšlenek a nápadů. Svá doporučení, která mi předkládal, byla vždy na místě a jasně korespondovala s problémy, které jsem na cestě za dokončením práce potkal.

Dále bych rád poděkoval všem, kteří se podíleli na získávání dat pro analýzu. Také těm, kteří mi byli konzultanty mých myšlenek. Jmenovitě děkuji Lindě Komárkové, Kristýně Sýkorové, Anežce Panské, Vojtěchu Křepinskému, Štěpánu Pipkovi, Matěji Moučkovi a Martinu Tomanovi. Všichni zmínění hráli zásadní roli při tvorbě mé práce. Bez jejich zpětné vazby bych nenapsal text s hlavou a patou, ale spíše s více hlavami a žádnou patou.

Nedílnou součástí mého textu je poděkování odborníkům, kteří se věnují problematice modrého světla a biorytmů. Děkuji tak Hynku Medřickému a Filipu Hausleitnerovi.

Poslední díky patří mé rodině, která mi dopřála klidu při tvorbě práce. Poskytla mi zázemí a podporu. Zvláštní díky patří největšímu konzultantovi mé práce – mé mamce, která mé práci se zájmem četla. Ze své lékařské pozice mě vracela na cestu, když jsem utekl k jiným nesmyslným tématům.

Děkuji

Anotace

Práce se zabývala problematikou modrého světla v denní době, kdy je pro člověka nejnebezpečnější, před spánkem. Sledovala šest subjektů po určenou dobu a zaznamenávala jejich spánková data. Studovala, zdali modrá spektrální složka světla ovlivňuje dobu usínání a samotnou kvalitu spánku. Na sledovaných subjektech bylo potvrzeno, že modrá spektrální složka prodlužuje dobu usínání téměř dvojnásobně. Dále práce dokázala, že modrá spektrální složka snižuje dobu člověka v REM spánku. Práce ukázala, že v dnešní době se o spánkovou a světelnou hygienu může každý postarat sám za pomoci moderních zařízení.

Klíčová slova

Modrá spektrální složka světla; spánek; biorytmy; melatonin; člověk

Annotation

My study deals with the issue of blue light during daytime. Due to our excessive use of technology producing blue spectral component of light people are highly affected by, especially during the period before bedtime. During this time blue light affects us significantly and negatively. In this study I had six subjects whom I observed and recorded data about their sleep. I studied whether the blue spectral component of light influences the length of time we take to fall asleep and the quality of sleep. The outcome – based upon the data I gathered on the six subjects – shows that blue spectral component of light in fact does influence the length of the period of falling asleep. The influence is quite significant, as the total time is almost doubled by the unfavourable effects of blue spectral component of light. Furthermore, I observed that blue spectral component of light affects the length of the periods of REM sleep the subjects had experienced, which resulted in shorter periods of REM sleep, thus resulting in worse quality of sleep. The study showed that everybody is capable of maintaining their sleep schedule and light hygiene on their own with the help of modern devices.

Keywords

Blue spectral component of light; sleep; biorythm; melatonin; human

OBSAH

Obsah.....	6
Seznam použitých zkratek.....	8
Úvod.....	9
1 Teoretická část.....	11
1.1 Vlnové spektrum.....	11
1.1.1 Světlo a Slunce.....	12
1.2 Modrá spektrální složka světla.....	13
1.2.1 Vlnová délka v historii.....	13
1.2.2 Atmosférický rozptyl světla.....	14
1.2.3 Umělé zdroje osvětlení.....	15
1.2.4 LED zařízení.....	15
1.3 Fyziologie lidského oka.....	16
1.3.1 Sítnice.....	17
1.3.2 Čípky.....	18
1.3.3 Tyčinky.....	18
1.3.4 Receptory ipRGCs.....	19
1.4 Cirkadiánní cyklus.....	19
1.4.1 Seřizování cirkadiánního cyklu světlem.....	20
1.4.2 Melatonin, epifýza a SCN.....	21
1.4.3 Cyklus S a Cyklus C.....	22
1.5 Spánek.....	24
1.5.1 Spánek jako stav organismu.....	24
1.5.2 REM spánek.....	25
1.5.3 NREM spánek.....	26
2 Praktická část.....	28
2.1 Hypotéza.....	28
2.2 Princip měření.....	28
2.2.1 Doba usínání.....	29
2.2.2 Spánková data.....	29
2.3 Optimalizace přesnosti výsledků.....	29

2.4	Prostředky k ovlivňování spektra dopadajícího na sítnici oka před spánkem.....	30
2.4.1	Žárovky Vitae.....	30
2.4.2	Brýle blokující krátké vlnové délky	31
2.5	Průběh experimentu	31
2.5.1	Princip expozice modré spektrální složce světla.....	31
2.5.2	Princip expozice pouze delším vlnovým délkám.....	31
3	Vyhodnocení dat	32
3.1	Doba usínání.....	32
3.1.1	Hlavní měření.....	32
3.1.2	Kontrolní skupina.....	33
3.2	Spánková data.....	35
3.2.1	Hlavní měření – REM spánek	35
3.2.2	Hlavní měření – NREM spánek	36
3.2.3	Kontrolní skupina – REM spánek	37
3.2.4	Kontrolní skupina – NREM spánek	38
4	Diskuze výsledků	39
4.1	Doba usínání	39
4.2	Spánková data.....	39
	Závěr.....	41
	Přílohy	43
	Soupis grafů.....	43
	Soupis a zdroje obrázků	43
	Bibliografie.....	45

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

MSSS	Modrá spektrální složka světla
aMSSS	Absence modré spektrální složky
LED	Light-emitting diode (LED žárovka)
SCN	Suprachiasmatic nucleus (Suprachiasmatické jádro)
ipRGCs	Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (vnitřně světločivné gangliové melanopsinové buňky)
K	Kelvin
nm	nanometr
h	hodina
min	minuta
s	sekunda
RGB	Red – Green – Blue system diode (červená – zelená – modrá systém diod)
FFI	Fatal familial insomnia (Fatální familiární insomnie)
REM	Rapid Eye Movement (Rychlý pohyb očí)
NREM	Non – Rapid Eye Movement (Bez rychlého pohybu očí)

ÚVOD

Středoškolská odborná činnost studuje lidské denní cykly a na ně navazujícím spánek. Zabývá se cykly, které člověk získal díky dlouholetému vývoji za periodicity Slunce.

Uvnitř každého člověka se v každé malé jediné buňce nachází hodinový systém. Ten funguje následovně: Každá buňka ze svého jádra produkuje informaci, která se v cytoplazmě stane bílkovinou, řekněme jí bílkovina A. Tato bílkovina se po čase naváže na jiný druh bílkoviny produkovaný jiným systémem, řekněme jí bílkovina B. Navázání obou bílkovin je v cytoplazmě zpomalováno, nemohou se navázat ihned. Až navázané bílkoviny AB se mohou společně dostat zpět do jádra. V jádře fungují tyto bílkoviny jako inhibitory, které zastaví transkripci informace o bílkovině A. Celý proces zabírá buňkám opakující se periodu, která je přibližně shodná s délkou jednoho dne. Tento zjednodušený cyklus funguje ve všech buňkách. Na základě tohoto cyklu bílkovin má člověk vnitřní hodinový systém.

Buňky se skládají do souborů, v nichž mají stejné časové cykly. Celé soubory buněk tento cyklus shodný nemají. Různé soubory buněk musejí být zákonitě seřizovány tak, aby spolu časově ladily. Můžeme je přirovnat k jednotlivým hudebníkům v orchestru. Všichni hudebníci výborně ovládají svůj nástroj. Dokáží vše zahrát, dokáží se přizpůsobit. Ale dohromady bez dirigenta by hráli mimo rytmus, mimo sílu a výšku tónu. Stejně jako orchestr dirigenta, má organismus suprachiasmatické jádro v mozku.

Suprachiasmatické jádro řídí cyklus, který je takřka denní neboli cirkadiánní (*circum diēm* – okolo dne). V důsledku to znamená, že suprachiasmatické jádro nastavuje denní aktivitu, noční spánek a mnoho dalších procesů. Kdyby byl člověk uzavřen od okolního světa tak, že by nevěděl, je-li noc nebo den, jeho suprachiasmatické jádro by ho stejně dokázalo mistrně řídit podle jeho vrozené periody.

Ze samotného názvu cirkadiánních cyklů plyne, že periody nejsou přesně jako den tedy 23 h 56 min 4 s. Periody se ode dne lehce liší. Suprachiasmatické jádro potřebuje být seřizeno, jinak by se lidé neustále opožďovali nebo předbíhali. Toto seřízení se děje na základně informací o střídání dne a noci. Suprachiasmatické jádro dostává signály pomocí speciálních buněk na sítnici zvaných ipRGCs. Tyto buňky reagují nejvíce na krátké vlnové délky světla reprezentované modrou barvou. Dá se tedy říct, že suprachiasmatické jádro se seřizuje modrým světlem.

Světlo ze Slunce, podle kterého se systém řídí a podle něhož vznikl, nemá v rámci celého dne stejné složení. Čím dále od pravého poledne se Slunce nachází, tím klesá hodnota modré spektrální složky dopadající na povrch Země. V noci už žádné světlo ze Slunce nepřichází (pomineme-li odraz od Měsíce). Suprachiasmatické jádro dostává jasné signály, kdy je den, kdy je noc.

Jasně signály dostávalo suprachiasmatické jádro miliony let, ale inovace a technický pokrok přivedly člověka k přídavnému světlu. Nejdokonalejší světlené zařízení, které kdy lidstvo poznalo, je zařízení LED. LED diody se nachází všude, jsou v telefonech, v displejích, dokonce i v hodinkách. Za posledních dvacet let se z telefonu s jednobarevným displejem stal dotykový telefon s několika miliony barev, který má každý člověk neustále u sebe. Inovace přišla poměrně rychle, rychle si lidé zvykli na komfort svítit i v noci. Lidský komfort je ale vykoupen oslabováním cirkadiánního rytmu.

Cirkadiánní rytmus potřebuje buď jasné informace, kdy je den a kdy noc, nebo žádné informace. Pokud dochází ke svícení (hlavně modrým světlem) ve večerních hodinách, suprachiasmatické jádro změni cykly na chaos. Chaos se změni na depresi, obezitu, insomnii nebo dokonce rakovinu. Většina chaosu vzniká nedostatečným úklidem v organismu. Úklid organismu probíhá hlavně během spánku. Narušuje-li člověk svůj spánek, a tím i cykly dne a noci, tak se postupně dostává k rozvinutí nemocí.

Spánek zpravidla dělíme na dvě hlavní části – REM a NREM. NREM zajišťuje většinu spánku a je důležitý v ukládání vzpomínek a opravě chybných míst v těle. REM spánek dává člověku psychickou úlevu, působí jako noční terapeut. Celý spánek uzavírá zpětnovazebné smyčky zmíněné v úvodu jako cykly proteinů AB. Ráno se lidé budí odpočatí, plni energie, bez psychických problémů nebo alespoň by si to každý člověk přál. Důvod, proč tomu tak není, tkví právě ve změnách cirkadiánního cyklu. Večerními posuny cirkadiánního cyklu směrem dopředu se člověk obírá o spánek a o opravné procesy v těle.

Cílem práce je zjistit, zdali se hlavní fáze spánku účinkem modrého světla změni. Zdali modré světlo nejen ovlivňuje suprachiasmatické jádro, ale i spánek. Zdali expozice modrému světlu ve večerních hodinách ovlivní dobu usínání a spánek samotný. Nakonec se práce snaží ukázat, že o světlenou a spánkovou hygienu může dbát každý jen za pomoci moderních technologií. Studii je uveden rozsáhlý teoretický úvod, který se snaží problematiku vysvětlit do hloubky. Dle předpokladu by večerní expozice světlu měla posunout cirkadiánní dobu spánku, a tím i snížit samotnou dobu spánku (za předpokladu stejné doby ulehnutí do postele a stejné doby probuzení).

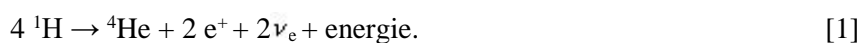
1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část si klade za cíl připravit pole pro část praktickou. Buduje informace od počátku, jak putuje paprsek světla a později informace mozkem. Zpočátku o vzniku světla a vlastnostech MSSS. Dále pokračuje vstupem světla do organismu a receptory, kterými organismus světlo vnímá. Na tomto vybudovaném základě se pouští do fáze o cirkadiánním cyklu, která je autorem považována za nejdůležitější. Nakonec teoretickou část ukončuje kapitola o spánku a jeho fázích.

1.1 Vlnové spektrum

Na to, aby mohl lidský organismus vnímat světlo, musí existovat zdroj světla. Název vlnové spektrum naznačuje, že nejde jen tak o světlo, které si běžný nevědecky smýšlející člověk představí. Hlavním středobodem této kapitoly je čtenáře seznámit se světlem po fyzikální stránce a přiblížit, kde vznikalo a kde vzniká bílé světlo nyní.

V jádře Slunce o teplotě 15 milionů Kelvinů probíhají termonukleární procesy, které mají za následek uvolnění energie do vesmíru. Každou sekundu se přibližně 700 milionů tun vodíku (1) přemění (vyjma asi čtyř milionů tun) na těžší helium podle rovnice:

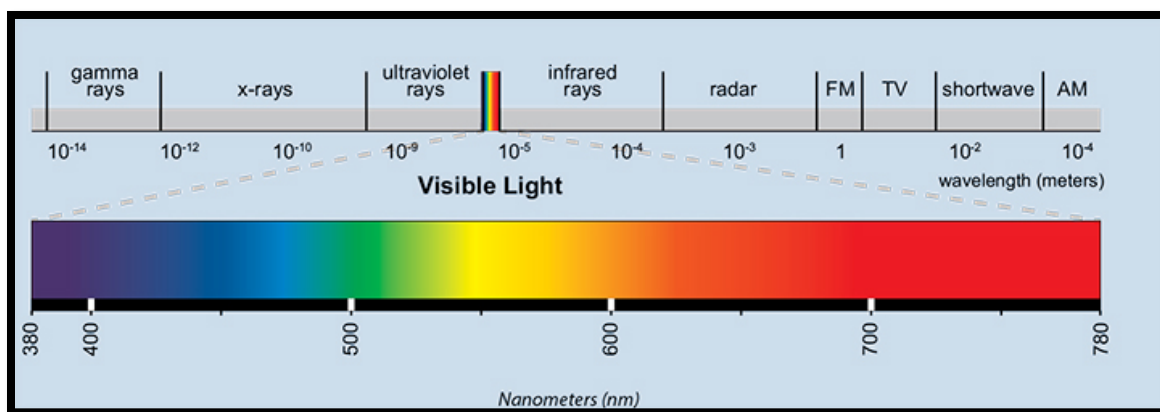


Právě tyto zbylé čtyři miliony tun vodíku se přemění na energii podle Einsteinovy rovnice o energii a hmotě. Většina této energie je vyžářena v podobě elektromagnetického záření, které se šíří vesmírem rychlostí přibližně 300 000 000 m/s (1) (2) (3). Toto elektromagnetické záření dopadá i na povrch Země ve formě světla. Uvádí se, že 50% energie dopadající na Zemi ze Slunce je právě viditelné světlo (4). Tento proces probíhá tak dlouho, jak jen dlouho existuje planeta Země a hvězda Slunce. Od vzniku těchto vesmírných objektů uběhla už dlouhá doba, po kterou se život na planetě Zemi vyvíjel až do podoby, jakou zná lidstvo dnes. Jedním z hlavních aktérů při vývoji života na Zemi bylo právě Slunce prostřednictvím světla. Slunce udávalo, kdy se má život probouzet a kdy usínat. Posledních několik desítek let se lidé ocitají v době, kdy Slunce neurčuje spánek, ale určují si ho lidé sami prostřednictvím stimulantů a světla přídatného (5) (6).

1.1.1 Světlo a Slunce

Světlo je popisováno jako elektromagnetické záření, nejčastěji charakterizované dle své vlnové délky¹. Viditelná složka světla se liší dle zdrojů, průměrně se jedná o 390 až 760 nanometrů (2). Světlo kratší vlnové délky jak 390 nanometrů (290–390) se nazývá ultrafialové a je z většiny pohlcováno ozonovou vrstvou kolem planety Země. Vlnové délky přesahující hranici 760 nanometrů se nazývají infračervené a jsou pohlcovány molekulami vodní páry v atmosféře (7) (3). Na povrch planety Země dopadá převážně vlnová délka 390–760 nanometrů (2).

Celé rozmezí dopadající na Zemi lze rozdělit na oblasti vlnových délek, dle kterých jsou na základě vjemů lidského oka škálovány do určitých barevných oblastí. Naopak jednotlivé barvy lze charakterizovat oblastí barevného spektra. Vlnové délky se mohou dle potřeby slučovat a lidské oko zaznamená souběh dvou vlnových délek jako jednotnou barvu. Není pravidlem, že barvy jsou vždy tvořeny pouze kontinuálními úseky spektra. Výsledná barva, kterou zaznamená naše oko, je na základě poměru, v jaké koncentraci na sítnici dopadly dané oblasti vlnového spektra (8). Barevné spektrum je vyobrazeno na obrázku 1. Spektru se říká duhové, jelikož duha na obloze je pravou reprezentací celého spektra.



Obrázek 1 - Vlnové spektrum světla dle barevných škál

Světlo, které člověk vnímá na planetě Zemi, je energetickou emisí. Emisí, která dopadá na Zemi v časových intervalech na místo pozorovatele už po miliardy let. Původ přirozeného světla je ze Slunce. Evolučně jde o největší zdroj energie a světla ovlivňující lidské životy vůbec. Za menší zdroje světla lze považovat Měsíc nebo také noční hvězdnou oblohu. Měsíc emituje minimum světla dopadající na povrch Země (při úplňku necelých deset luxů) a hvězdy o několik řádů nižší hodnoty (9). V porovnání se Sluncem, které emituje na sto tisíc luxů dopadajících na planetu Zemi v poledne, se jedná o zanedbatelné hodnoty. Sluce se stalo jediným a hlavním zdrojem světla od počátku lidské civilizace a díky své vyváženosti všech vlnových délek se stalo také nejpřirozenějším světlem (9).

¹ Elektromagnetické vlnění je druh vlnění zastupovaný základní jednotkou fotonem. Foton se pohybuje po periodicky opakujících se úsecích připomínajících vlny. Vlnovou délkou se rozumí vzdálenost dvou bezprostředně opakujících se úseků chodu fotonu. Čím kratší vlnová délka je, tím rychleji musí foton konat kmitavý pohyb, a tím větší energii daná vlnová délka charakterizuje.

1.2 Modrá spektrální složka světla

V dnešní době se dá hovořit o jakémisi „boomu“ modrého světla. Vědci často varují před obrazovkami, které vyzařují modré světlo. Lidé často informace o modrém světle desinterpretují a z modrého světla se stává v hlavách lidí skoro až vrah populací.

Je pravdou, že obrazovky moderních zařízení vydávají krátké vlnové délky – modrou spektrální složku světla (dále jako MSSS). Dále je nutné si uvědomit, že nejen v obrazovkách se nachází právě MSSS. Světlo nalézáme všude kolem. Jednoduše lze říct, že tam, kde nesvítí světlo do syta oranžova nebo syta červena, se nachází MSSS (3) (pokud někde chybí krátké vlnové délky, je světlo s deficitní modrou barvou právě oranžové až červené). MSSS nalézáme ve většině moderních žárovek, LED zařízeních, výlohách obchodů a v podstatě všude tam, kde se svítí. Nejdůležitější věcí zůstává to, že modré světlo není špatné. Jde o naprosto přirozené světlo, které má nejvyšší energii z celého vlnového spektra světla, a lidstvo s ním žije od svého počátku. Bez krátkých vlnových délek se lidem snižuje pozornost, kreativita i výkonnost (10) (11). Jediná nebezpečná věc na MSSS je její načasování, lidé nebyli nikdy zvyklí na přísun krátkých vlnových délek v pozdních hodinách před spánkem, jelikož atmosféra tyto energie nabitě vlny v atmosféře rozptýlila. Nedá se tedy mluvit o vrahu populací.

1.2.1 Vlnová délka v historii

Krátké vlnové délky (do 500 nm) člověk vidí jako modré světlo (12). Toto světlo je vyzařováno nejen Sluncem, ale i mnoha elektronickými zařízeními, a není divu, že v průběhu několika uplynulých desítek let se výrazně zvýšila lidská světelná aktivita (13). Pohledem do minulosti: Dříve existovalo pouze Slunce, které přes den vyzařuje téměř celou barevnou škálu světla (více v 1.2.2 o rozptylu světla). Později lidé poznali a ovládli oheň. Oheň dle spektroskopických studií obsahuje minimum MSSS a převažují zde delší vlnové délky k červené až do infračervené barvy (3) (14). Dá se mluvit o teplotě chromatičnosti² kolem 1900 Kelvinů, což je považováno za silně teplé bílé (či lépe červené) světlo. Dále vynalézavost člověka přivedla ke svíčke a palivům, kterými dodával zdroj energie pro oheň. Všechny tehdejší zdroje emitovaly stejné či velmi podobné vlnové délky, které se hodnotou MSSS drží na minimálních hodnotách (13). Problém nastal až v novém věku osvětlení, o kterém se v dnešní době mluví jako o době světelného znečištění. Znečištění proto, že v dnešní době se v industrializovaných oblastech nachází pouze minimální množství míst s dostatečnou tmou, například pro pozorování hvězd. Tento problém světelného znečištění se prohlubuje kvůli organismům, které si jako člověk nemohou zhasnout a zatáhnout závěsy (15).

² Teplota chromatičnosti = teplota která udává barevnost světelného zdroje, popřípadě světla samotného. Udává se v Kelvinech. Na jednom konci se nachází sytě červená barva, která o teplotě chromatičnosti kolem 800 K. Červená přechází přes teplou bílou (2700 K) až na bílou neutrální (4000 K), dále pak přes studenou bílou (6000 K) až do modré (12 000 K popř. 16 000 K dle šířky stupnice). Tato škála neobsahuje barvy jako je zelená nebo fialová a to proto, že se jedná o škálu stejnou jako škála barevnosti emisního záření dokonale černého tělesa (42).

1.2.2 Atmosférický rozptyl světla

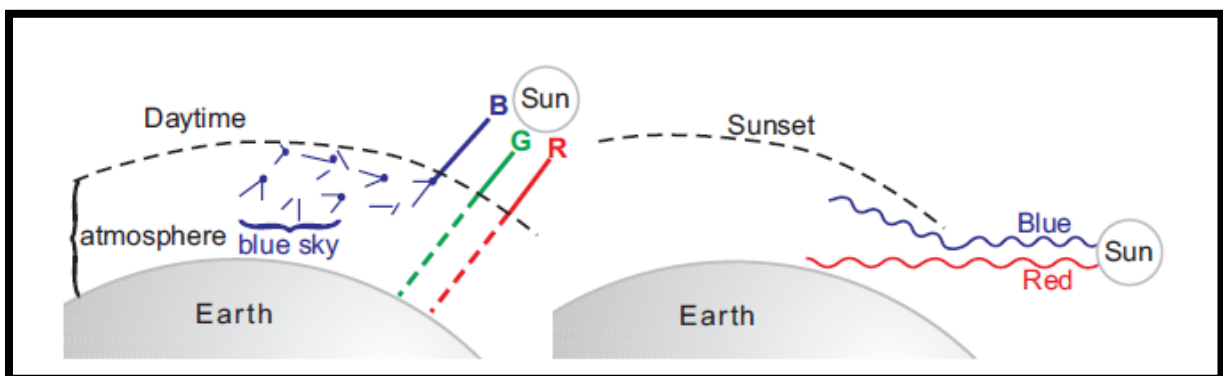
Sluneční svit se nedá pokládat za homogenní v rámci celého dne. Celé spektrum se skládá ze všech barevných částí světla. Během dne se nemění složení světla, putujícího k planetě Zemi, ale při průchodu atmosférou se na základě úhlu a délky atmosféry, kterou musí paprsek prostoupit mezi pozorovatelem a Sluncem, mění intenzita zejména krátkých vlnových délek (3).

Paprsky Slunce neprocházejí atmosférou napřímo. V atmosféře dochází k rozptylu všech složek světla. Světlo jako elektromagnetické vlnění dle Rayleigha podstupuje rozptyl, který je nejvýraznější u kratších vlnových délek (3) (4), a to dle rovnice:

$$I \cong \frac{1}{\lambda^4} \quad [2]$$

Intenzita rozptylu se přibližně rovná podílu jedné a čtvrté mocniny vlnové délky z čehož vyplývá, že čím menší jmenovatel (kratší vlnová délka), tím vyšší rozptyl (3).

Elektromagnetická vlna při průchodu atmosférou naráží na molekuly vzduchu a prachových částic, se kterými interaguje a dochází tak ke změně jejich směru. V praxi se změna směru označuje jako rozptyl (3). Nejvyššího rozptylu dosahují nejkratší vlnové délky, dle vzorce [2] platí, že délky 400 nm jsou rozptylovány 9,4krát více jak 700 nm délky (3). Tento rozptyl je důvodem modrého zbarvení atmosféry Země, jelikož rozptýlené paprsky světla zůstanou v atmosféře. Při východu a západu Slunce se Slunce nachází na tečně k povrchu Země (k místu pozorovatele). Vzdálenost, kterou musí urazit paprsek světla je delší, než když je Slunce v poledne kolmo nad povrchem. Tedy světlo ze Slunce nad obzorem musí urazit výrazně delší dráhu v atmosféře. Tato prodloužená vzdálenost způsobuje, že se rozptylují více i delší vlnové délky, proto je při východu a západu Slunce vidět rudý obzor (4). Závěr zůstává ale jasný, při západu i východu Slunce se na povrch Země a oka pozorovatele dostane naprosté minimum modré spektrální složky světla.



Obrázek 2 - Rozptyl během dne

Ve své podstatě MSSS ze Slunce je v atmosféře pouze během dne a k večeru se vytrácí většina rozptýlená v atmosféře. Respektive se jedná o minimální množství, které oko zachytí.

Čím déle od poledne se Slunce nachází, tím řidne množství modré složky dopadající na povrch planety Země.

Důležitou poznámkou u rozptylu světla je, že po západu Slunce, kdy na místě pozorovatele je stále soumrak, se změní poměr vlnových délek. Při západu byla dominantní červená složka, ale po západu jsou délky vyrovnané. Rozdíl je pouze v obrovském úbytku energie, který na Zemi dopadá. Po absolutním setmění už světlo na povrchu Země téměř není.

1.2.3 Umělé zdroje osvětlení

Lidé celá staletí hledali způsoby, jak zůstat déle vzhůru, jednalo se o způsob, jak být produktivnější. Roku 1880 byla poprvé rozsvícena žárovka donesená na patentový úřad Thomasem Alvou Edisonem, která dokázala svítit více jak 1200 hodin. Šlo o žárovku s bambusovým vláknem, ze které byl vysátý vzduch a kterou procházel elektrický proud (16). Časem se žárovky vylepšovaly tak, aby byly dle ekonomických standardů levné, výdržné, a aby se na nich dal postavit byznys. Žárovka se posunula od bambusu k wolframovému vláknem s vysokou teplotou tání a také k plnění žárovky, respektive výbojky, plynem (13). Vznikaly tak zdroje světla, které se daly instalovat všude, kam dosáhlo elektrické vedení. Výsledkem měření spektra výbojky plněné sodíkem je spektrum s malým obsahem MSSS. Edison a další tak nechtěně a náhodou vytvořili alternativu ohni, sice s větším zastoupením MSSS, ale stále natolik malým, že v lidském životě neznamenal převrat³ (více v kapitole 1.4) (17).

1.2.4 LED zařízení

Light Emiting Diode zkráceně LED je zařízení moderní doby, které má stále širší a širší užití. S příchodem LED se lidem rozvázaly ruce a získali moc nad světlem a jeho spektrem. Jedná se o jednoduchý polovodičový přechod PN. Takto jednoduchý přechod se dá modifikovat dle potřeb. Přidat či odebrat příměsi nebo přechod pokrýt látkou umocňující záření (18).

Dioda je složena ze dvou částí: Z polovodičové části s nadbytkem elektronů (N) a z polovodičové části s nedostatkem elektronů (P). Tyto části jsou vedle sebe v elektrickém obvodu. Začnou-li procházet elektrony ve směru od části s nadbytkem elektronů k části s deficitem, dochází k rekombinaci děr (nedostatků elektronů) a elektronů. Každá takováto rekombinace je spojena s emitací množství energie. Tato energie může být také energií světelnou. Díky příměsím v diodě lze vytvořit vlnové spektrum světla dle našich potřeb. Technologicky nejjednodušší je vytvoření diody emitující modré vlnové délky. Modrá vlnová délka se pomocí luminoforu na povrchu diody přenesou na zbytek spektra, a tím vznikne subjektivní bílá (18) (19).

V dnešní době se LED zařízení využívá na každém lidském kroku. Spolehlivost, variabilita, vysoká účinnost a nízkou spotřebu jsou hlavní důvody, proč se LED využívá v displejích, osvětlení, kontrolkách a v mnoha dalších zařízeních (10) (18).

Za posledních několik let se významně zvýšilo osvětlení planety Země. Na Zemi se těžko hledají v industrializovaných oblastech místa s tmavou oblohou. Stále přibývající osvětlení

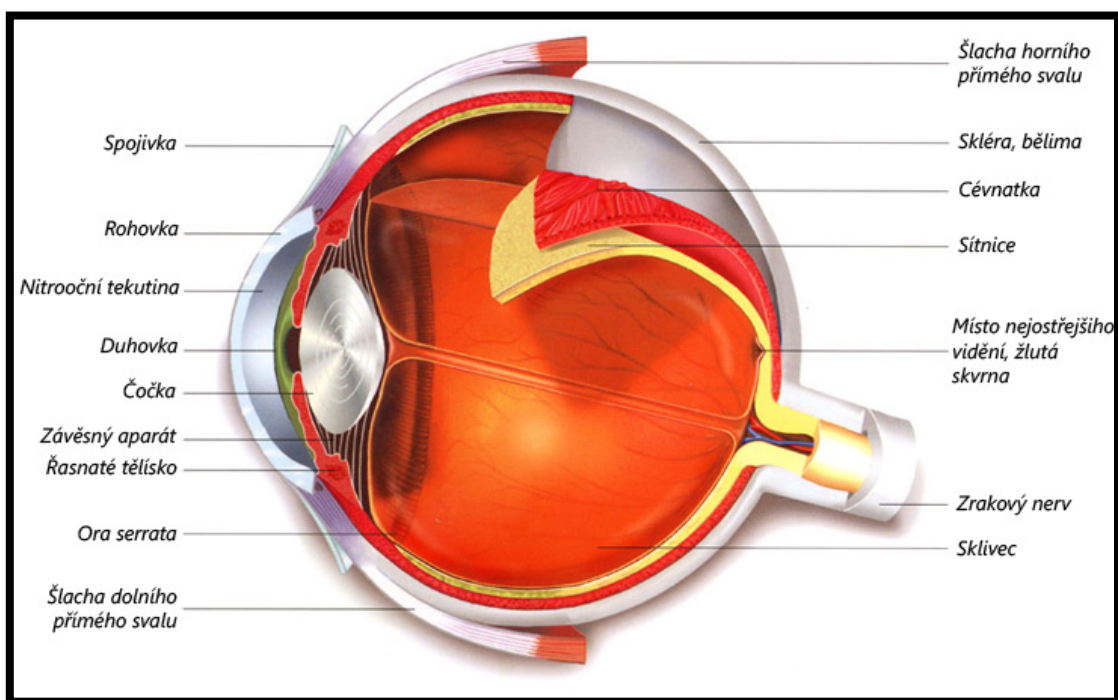
³ Pro doplnění, lze baňku výbojky plnit i jiným plynem, ale v tehdejší době se jednalo o neekonomický krok, nebo nebezpečný krok při použití par rtuti. Jiné prvky plnicí trubice se v dnešní době používají ve výlohách jako neonové výbojky.

nehrožuje pouze světelnost planety Země, ale hlavně ohrožuje organismy, které na planetě žijí. Stále modernější zařízení mají díky ekonomicky výhodným parametrům spektrum se zastoupením modré spektrální složky. To vede k dezorientaci organismů zvyklých, že v noci svítí pouze minimálně Měsíc, za kterým se přirozeně pohybují. Za posledních třicet let se eviduje úbytek létající biomasy hmyzu o více než 75 %, jedním z hlavních důvodů je častěji využívané modré spektrální složení světla (15).

1.3 Fyziologie lidského oka

Světlo vnímáme zejména pomocí očí. Následující část popisuje, proč je MSSS světlem, které je zásadní pro synchronizaci organismu prostřednictvím suprachiasmatické jádra (SCN) a melatoninu.

Oko se dá zjednodušeně pokládat za čočku. Čočka, která obrací obraz, zmenšuje a ukazuje skutečný tvar. Lidské oko je kulovitý orgán složený z vrstev, každá vrstva má svou nezastupitelnou funkci. První vrstva zahrnuje spojivku a rohovku, světlo tedy nejdříve putuje přes rohovku, která je prvním pouzdrém oka. Rohovka zakřivuje světlo indexem lomu 1,377. Dále musí paprsek projít přes přední oční komoru (na obrázku 3 mezi duhovkou a rohovkou) (20). Přední oční komora je vyplněna očním mokem, který je o téměř shodném indexu lomu jako rohovka. Na paprskové cestě následuje duhovka s otvorem nazývaným zornička. Zornička stahy řídí množství světla vstupujícího do oka, stejně jako u fotoaparátů clona. Za duhovkou je čočka. Čočka je první část oka, která je skryta pro pozorovatele. Čočka je upevněna řasnatým tělískem a ciliárním aparátem, který reguluje optickou mohutnost čočky, tak je člověk schopen zaostřit na blízké i daleké objekty. Za čočkou vstupuje paprsek do oční dutiny vyplněné rosolovitou tekutinou – sklivcem, kde se obraz převrací a dopadá na sítnici (20) (21).

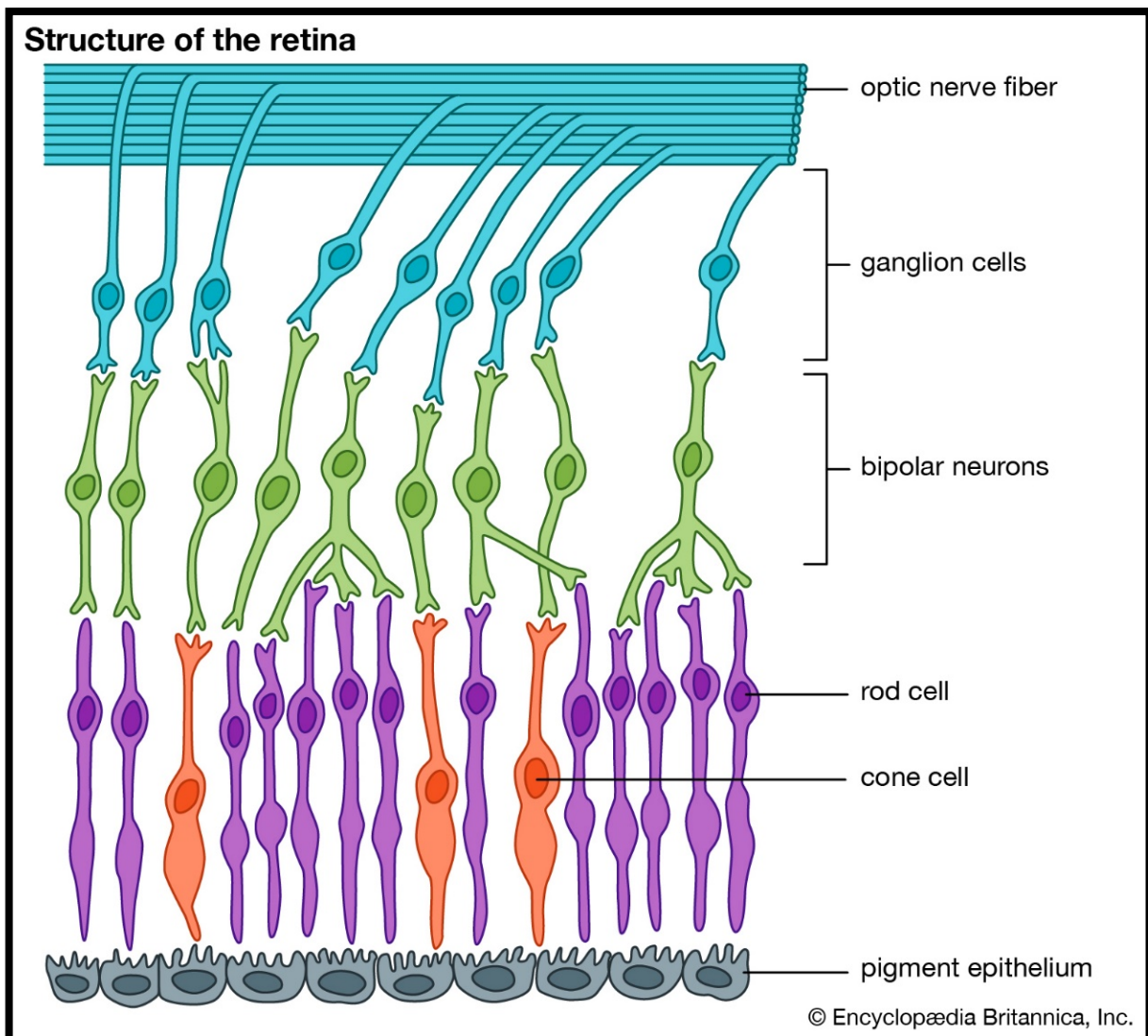


Obrázek 3 - Řez zrakovým aparátem

1.3.1 Sítnice

Sítnice je nejdůležitější částí oka pro získávání informací. Dá se o ní hovořit jako o sběrnici dat zrakového vjemu. Sítnice se nachází na stěně oční dutiny a je složena z několika vrstev čítající dohromady tři receptory – tyčinky, čípky a gangliové buňky. Tyčinky a čípky mají k sobě blízko, čípky jsou pro vidění ve dne a tyčinky pro vidění v noci. Nejmladším objeveným receptorem jsou gangliové buňky, které fungují na odlišném principu než první dva receptory (22) (23).

Nejzazší částí dle obrázku 4 je pigmentový epitel (pigment epithelium). Dále navazují dva hlavní fotoreceptory vytvářející takzvaný image forming vision – čípky a tyčinky (rod cell, cone cell). Právě tyto receptory byly pokládány za jediné receptory v oku až do posledních let, kdy byly objeveny speciální gangliové buňky. (24).



Obrázek 4 - Struktura sítnice

1.3.2 Čípky

Čípky (cone cell) jsou prvním zmiňovaným fotoreceptorem. Fungují pro fotopické vidění⁴, předpokládá se, že se jedná buňky trojího typu (20). Všechny typy reagují na vyšší jasy (vyšší jak 100 kandela na metr čtvereční) a poměrně rychle se přizpůsobí okolnímu jasů. Čípky se dělí dle předpokladu na tři druhy – krátké, střední a dlouhé. Postupně dle svých názvů jsou citlivé na různé dlouhé vlnové délky spektra světla. Krátké jsou citlivé na délky 400–500 nm. Střední mají nejvyšší účinnost od 450 do 630 nm. Dlouhé potom od 500 do 700 nm. Čípky nejsou rozdělené po sítnici rovnoměrně. Liší se také v počtu. V oku je nejméně krátkých, tedy čípků reagujících na krátké vlnové délky (25) (26).

Díky čípkům je schopen člověk vidět barvy (25). Čípky mají na svém povrchu fotosenzitivní barvivo – fotopsin, který zajišťuje reakce organismu na světlo a barvy v podobě informace vedené do mozku (26). Čípky se také dají popsat díky barvě, kterou jsou schopny zaznamenat, tedy na čípky modré, červené a zelené⁵ (26) (24).

1.3.3 Tyčinky

Druhým receptorem na sítnici jsou tyčinky. Tyčinky naopak reagují na nižší jasy a nejsou schopny rozpoznávat barvy. Jsou příčinou skotopického vidění⁶ (24). Tyčinky obsahují ve svých buňkách pigment rodopsin, který je složen z derivátu vitamínu A a opsinu. Tyčinky pracující při nízkých intenzitách světla, zajišťují pouze omezené schopnosti. Nejsou schopné vnímat přesné ohraničení objektů, ale naopak jsou schopné rozeznávat různé stupně šedé (26) (24).

Oba tyto receptory spolupracují a dávají lidem schopnost vidět. Pomocí chemických procesů a polarizaci předávají signál přes vrstvu bipolárních buněk (bipolar neurons) do gangliových buněk (ganglion cells), které přímo spojují oko s mozkem přes optický nerv (optic nerve fiber) (21) (26). Proces předávání informace či signálu funguje na procesu polarizace cesty od receptoru až do mozku. Tedy tyčinek, respektive čípků, bipolárních buněk a gangliových buněk. Světlo, které vstoupí do oka, vnímají pouze tyčinky a čípky, které předávají signál dopředu do gangliových buněk (24). Mezi gangliovými buňkami byl učiněn na přelomu tisíciletí fenomenální objev třetího receptoru, který sám o sobě dokáže díky svému pigmentu světlo zachytit a vyvolat vlastní řadu reakcí. Tento druh gangliových buněk byl popsán jako ipRGCs (27).

⁴ Fotopické vidění = vidění oka, které je adaptované na světlo neboli laicky řečeno vidění za dne.

⁵ Vlastnost vnímat tři typy barev a z nich skládat výslednou barvu je využita při tvorbě displejů, které mají uspořádání diod RGB. V displejích jsou instalovány všechny diody pro co nejlepší odraz reality. Právě modrá složka trojích diod zapříčiňuje vyšší podíl modré složky světla ve večerních hodinách.

⁶ Skotopické vidění = vidění v noci, za nízkého jasu.

1.3.4 Receptory ipRGCs

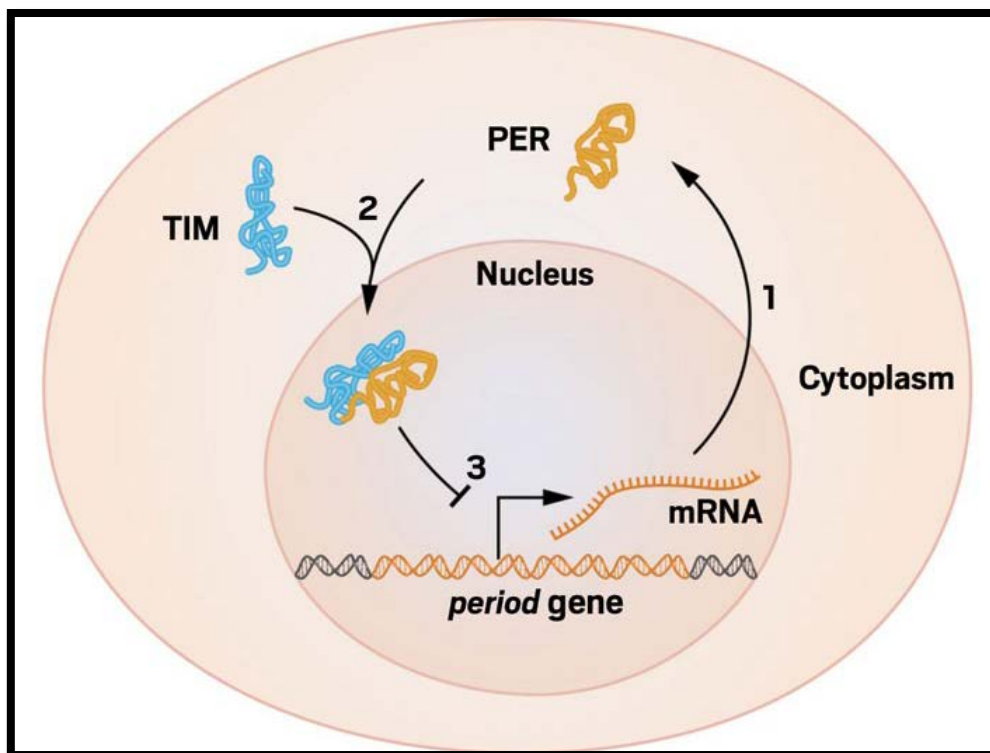
IpRGCs neboli intrinsically photosensitive retinal ganglion cells, volně přeloženo jako vnitřně světločivné gangliové melanopsinové buňky sítnice, jsou buňky nacházející mezi optickým nervem a bipolárními buňkami (27) (28). Tyto buňky se od ostatních gangliových buněk liší tak, že samy reagují na světlo bez pomoci tyčinek nebo čípků. IpRGCs obsahují vlastní opsin – melanopsin Ten při ozáření změni svoji konfiguraci a ipRGCs vyšlou do mozku signál (23). Melanopsin reaguje nejvíce na krátké vlnové délky o hodnotě 479 nm (23), reprezentované modrou barvou. Melanopsin reaguje i na zbytek spektra, ale v porovnání s vlnovou délkou 479 nm se jedná o velmi zanedbatelnou hodnotu reakce (23). Vlnová délka je zapotřebí na změnu konfigurace melanopsinového uhlíku (28). ipRGCs jsou zodpovědné za non-image forming vision (vidění nevykazující poznávání okolí). Non-image forming vision zajišťuje dvě hlavní složky. První je otevírání a zavírání zornice na základě intenzity světla. Druhá složka je ovlivňování cirkadiánních hodin v lidském těle (23) (28).

Při ozáření oka krátkými vlnovými délkami dochází k reakci na úrovni melanopsinu, který za pomoci aparátu podobného optickému nervu vyše signál do mozku. Při ozáření dojde k signálu dne, při absenci naopak organismus funguje, jako kdyby byla noc (5). Rozdíl mezi tyčinkami, čípky oproti ipRGCs v signálu je ten, že ipRGCs vysílají signál do hypotalamu, tyčinky a čípky naopak do týlního laloku a dál po zrakové dráze.

1.4 Cirkadiánní cyklus

Cirkadiánní už svým názvem napovídá, že jde o denní cyklus. Z latiny slova *circum* – okolo, *diem* – den, přímo ukazují na cyklus, který je téměř shodný se dnem (29). Tento cyklus řídí člověka v průběhu celého dne. Člověk je podle něho vnitřně řízen k aktivitě, spánku nebo práci. Třem vědcům: Jeffreyemu C. Hallovi, Michaelu Rosbashovi a Michaelu W. Youngovi se podařilo vysvětlit, jak tento cyklus vzniká⁷. Velice zjednodušeně: Každá buňka má ve svém genomu uložený tzv. period gen. Tento gen produkuje přes mRNA informaci do cytoplazmy o vzniku bílkoviny PER. Samotná bílkovina je zároveň inhibitorem své vlastní genetické represe. Pokud se dostane do jádra, zablokuje vlastní produkci. Bílkovina PER se do jádra sama nedostane (30). Na to, aby mohla do jádra vstoupit, potřebuje ještě bílkovinu TIM. Právě s tou vstupuje do jádra a blokuje svoji produkci. Proces navázání bílkovin TIM a PER je zpomalován dalšími molekulami, které fungují jako inhibitory této vazby. Čas, za který se bílkovina PER dostane z jádra, naváže se s bílkovinou TIM, inhibuje vlastní produkci a rozpadne se, je přibližně dvacet čtyři hodin (30). Celý cyklus zpětnovazebné smyčky je znázorněn na obrázku 5.

⁷ Za svůj objev byli v roce 2017 oceněni Nobelovou cenou.



Obrázek 5 - Period gene a jeho represe

Cykly v buňce je potřeba regulovat tak, aby v celém těle byl řád. Právě nastavování těchto cirkadiánních cyklů zajišťuje oblast v mozku, v hypothalamu – suprachiasmatické jádro (5) (30). Toto jádro funguje jako správce cirkadiánních cyklů.

Cirkadiánní cykly se délkou jedné periody přesně nepřekrývají s periodou dne. SCN na rozdíl od společnosti vnímá periodu dne pouze v určitých odchylkách od 23 h 56 min 4 s, které se navíc v průběhu života mění (5). Na počátku života má cyklus uvnitř mozku periodu přes dvacet čtyři hodin. Uvádí se, že kolem dvaceti čtyř hodin a patnácti minut (v extrémních případech až 27,1 hodiny) (22). Se stářím se doba periody zkracuje a lidé staršího věku mají naopak o patnáct minut méně, než je dvacet čtyři hodin (6).

1.4.1 Seřizování cirkadiánního cyklu světlem

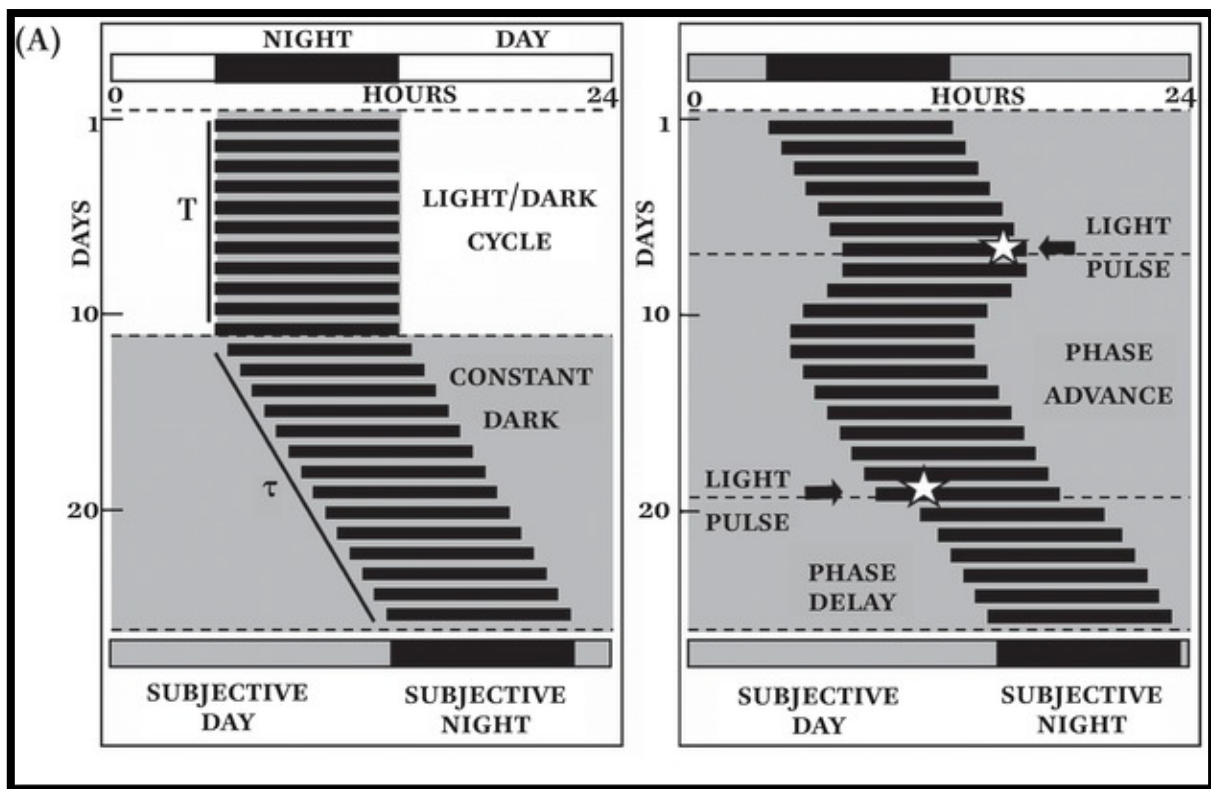
Jak funguje načasování a jak se seřizuje suprachiasmatické jádro, které spravuje cirkadiánní cykly, přibližuje obrázek 6. Na pravé straně se nachází prvních deset dní, kdy byl člověk vystaven normálním světleným podmínkám (31). Jeho cykly subjektivní noci a dne, které vyhodnotilo jeho SCN, jsou pravidelné, jelikož dochází k synchronizaci pomocí světla. Po desátém dni byl člověk umístěn do absolutní tmy. Jeho cyklus byl stále pravidelný, ale jeho perioda se lišila od 24 hodin (byla delší). Celkově se každý den o stejný kousek opožďoval (31).

Jiný případ nastal ve druhém případě. Stejný člověk byl umístěn v konstantní tmě. Sedmý den byl ozářen světlem v době, kdy podle jeho hodin byla ještě tma. Jeho vnitřní hodiny na impuls zareagovaly tak, aby konec spánku (tmy), byl shodný s impulzem světla. Reakce není okamžitá, jelikož organismus se přizpůsobuje pomalu (31). Od desátého dne se člověk opět opožďuje, jako by byl na počátku měření. Stejný impuls přijde před dvacátým dnem, s tím rozdílem, že

impulz přijde na začátku doby subjektivního spánku (tmy). Následný cyklus je posunutý dopředu. Člověk se tak předbíhá ještě více.

K takovému posouvání dochází každý den u každého člověka v době, kdy jeho organismus vyhodnotí, že je noc (31). Pokud v této době dostane SCN informaci, že noc není (informace skrze světlo), posune se tak, aby příště takovou chybu neudělal. Světelný signál během doby, co SCN očekává den, posun nezpůsobí. Pokud člověk svítí ve večerních hodinách, posouvá se dopředu. Pokud svítí ráno, posune se naopak dozadu. Přirozeně se tak člověk synchronizuje na základě toho, je-li jeho perioda více či méně jak 24 h (31). Člověk s delším cyklem se synchronizuje ráno, člověk s kratším večer.

SCN reaguje na téměř celé spektrum, ale amplituda reakce je při vlnových délkách kolem 480 nm, ty jsou reprezentované modrou barvou (23).



Obrázek 6 - Posun lidského organismu na základně SCN a světlených impulzů

1.4.2 Melatonin, epifýza a SCN

Často zmiňovanou problematikou modrého světla je negativní reakce produkce melatoninu. Melatonin je hormon, který je produkován v epifýze. V organismu funguje jako nejsilnější antioxidant, a hlavně jako spojka mezi mozkem a zbytkem těla. Informuje o tom, že nastala noc (32). Melatonin je z epifýzy (kde se syntetizuje ze serotoninu) produkován do celého těla. Díky melatoninu se lidem zkvalitňuje spánek. Zároveň je melatonin významným hormonem při usínání (5).

Melatonin se vyplavuje na základě signálu z SCN, to dostává signály díky světlu z ipRGCs. Právě světlo hraje hlavní roli v produkci melatoninu. Cirkadiánní cyklus začne posílat přirozeně informaci do epifyzy už dvě hodiny před dobou, než je člověk zvyklý usínat. Zároveň se ale melatonin nesyntetizuje, registrují-li ipRGCs modré světlo (5) (6) (23). Nastává tak spor, který je vyřešen až po nastolení tmy. Až devadesát minut po nastolení tmy se začne melatonin syntetizovat, a tím začne vzrůstat jeho hodnota v krevním řečišti (5) (6).

Melatonin přirozeně cirkuluje v těle na základně světla. Pokud člověk v noci pohledem do telefonu přeruší vyplavování melatoninu, tak tím porušuje jeho cyklus. Neustálé narušování cyklu nadměrným svícením vede ke ztrátě cyklu. Pro ztrátu cyklu je typická vyšší hodnota melatoninu během dne (člověk se tak cítí unavenější). Naopak v noci je hodnota nedostatečná.

Nedostatek melatoninu během noci je spojován s rakovinným bujením, cukrovkou, depresemi a dalšími poruchami organismu (6). Narušení hladiny a cyklů melatoninu vede přímo k rozvoji rakoviny jak u myší, tak u lidí (33) (34). Melatonin má na organismus protizánětlivé a protirakovinné účinky. Významný účinek má melatonin na ženské menstruační cykly a na jejich načasování. Dalším benefitem melatoninu je podpora imunitního systému (34) (35).

Také se melatonin užívá v tabletové formě jako suplementace pro sportovce (případně pro osoby s poruchami vyplavování melatoninu) pro lepší a kvalitnější spánek, případně k prevenci jetlagu z létání.

V dnešní době dochází k abnormálnímu užívání MSSS během nočních hodin (kvůli telefonům, osvětlení v domácnosti atd.). V evoluci bylo takové množství světla pouze právě v poledních hodinách a odpoledním časem se snižoval podíl modré složky dopadající na povrch Země. Pokud člověk nedodrží světelnou hygienu (svítí modrým světlem navečer), jeho cykly melatoninu se bortí a s tím i jeho zdraví (5) (6).

1.4.3 Cyklus S a Cyklus C

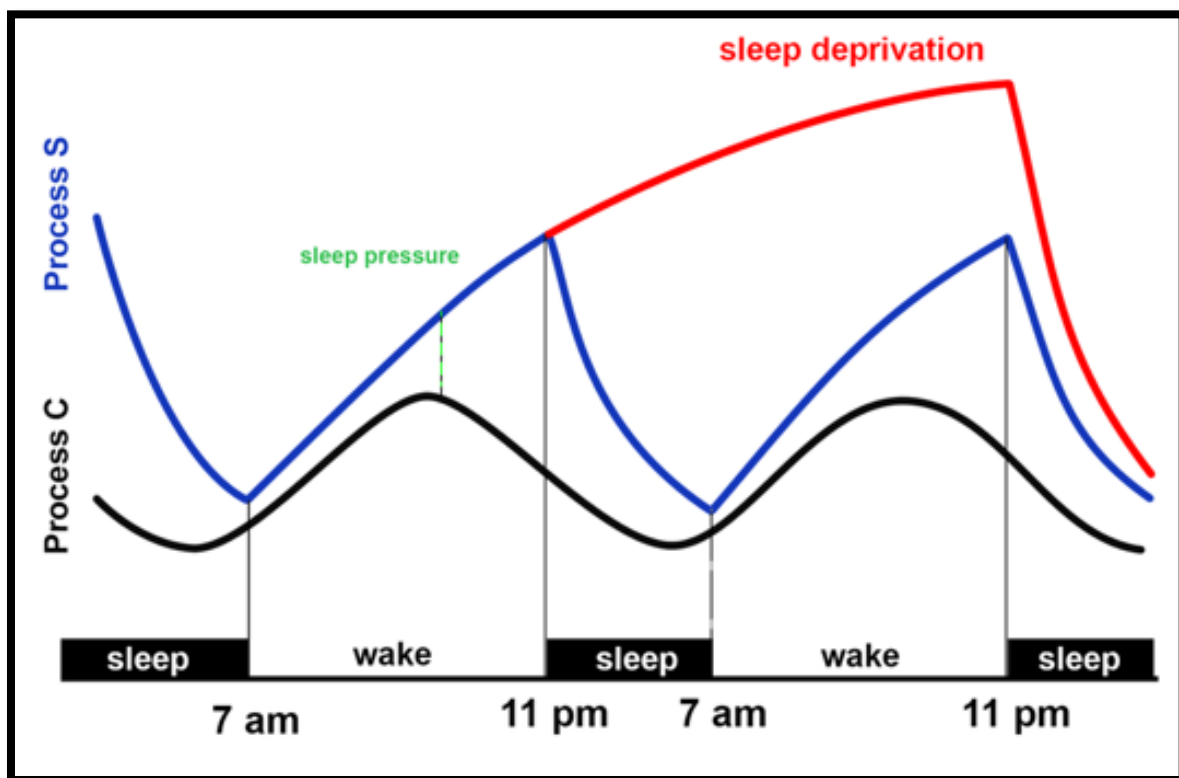
Cirkadiánní stav organismu se často znázorňuje spolu s křivkou tlaku na spánek člověka, tyto křivky jsou zaneseny na obrázku 7. V těle při usínání fungují dva systémy. Jeden označovaný jako cyklus S, který vyjadřuje lidskou ospalost a cyklus C, který značí lidskou cirkadiánní bdělost (6).

Cyklus S přímo způsobuje spánek člověka. Jeho křivka vyjadřuje naplněné adenosinové receptory v mozku. V mozku se v průběhu celého dne hromadí adenosin, který v mozku vytváří ospalost a přímý tlak na spánek. Ráno má ideálně člověk vyčištěné adenosinové receptory. Během dne adenosin v mozku stoupá (na obrázku vyznačeno modrou křivkou). Pokud člověk nejde spát, tak se křivka změní na křivku červenou, adenosin tlačí na spánek stále intenzivněji. Lidé toto puzení často zahánějí kofeinem a přípravky mu podobné, ale kofein pouze organismus zmate a v mozku se naváže na místo adenosinu (6). Kofein se přirozeně odbourá a přijde záplava nashromádaného adenosinu. Jediná možnost, jak se adenosinu zbavit, je spát. Pokud člověk spí dostatečně, ráno se probudí s vyčištěným adenosinem, pokud ne, vytváří si spánkový dluh (6).

Na straně druhé je proces cirkadiánní bdělosti znázorněn černou křivkou. Křivka je podobná sinusoidě, je přesně pravidelná, stejně jako cirkadiánní cyklus sám o sobě. Proces C ukazuje, kdy je člověk nejvíce bdělý, a kdy je nejvíce unavený. Velice úzce souvisí s produkcí melatoninu. Proces C je téměř přesně opačný oproti melatoninovému, který je znázorněn na obrázku 8.

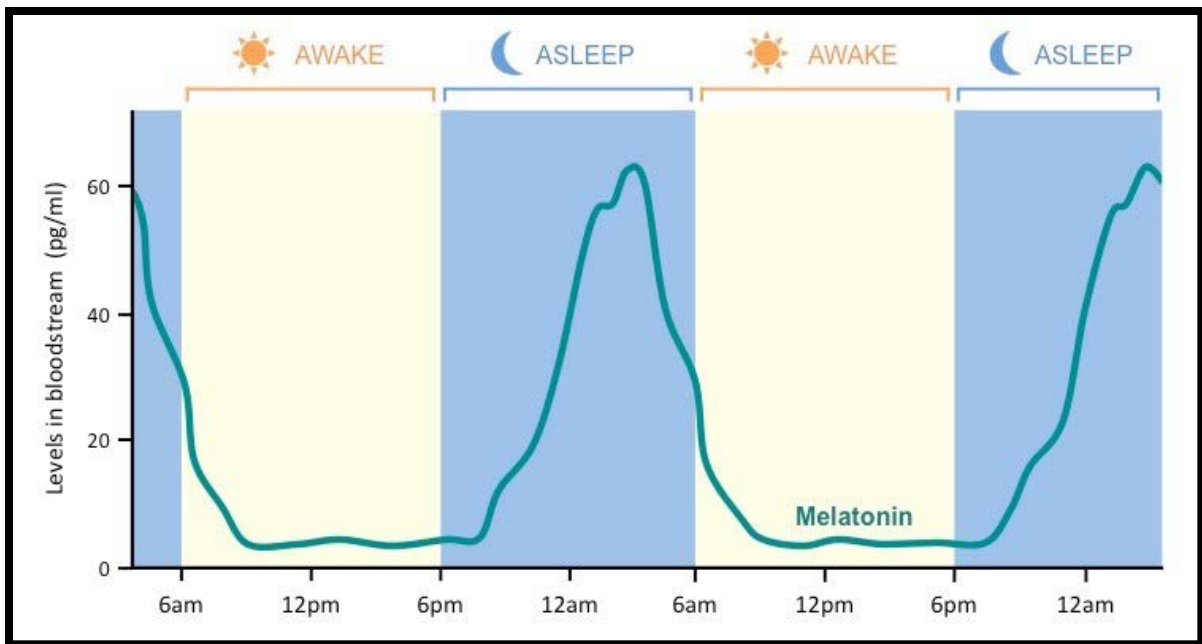
Když organismus usíná, proces C a proces S spolu spolupracují. Proces C produkuje melatonin, který organismu ohlašuje, že nastala noc. Proces S tlačí adenosinovými receptory na spánek. Spánek je přímo způsobován procesem S. Pokud má člověk velkou spánkovou deprivaci, usne bez potíží i bez pomoci procesem C (34).

Proces C dává organismu melatonin v době, kdy oko neregistruje MSSS. Jak je vidět na obrázku 8, tak melatonin je během dne ideálně nulový. Organismus by byl jinak během dne informován, aby začal s opravnými procesy, které náleží noci. Během noci je naopak ideální co nejvyšší hladina, aby organismus jasně věděl, že má opravovat organismus (34).⁸



Obrázek 7 - Proces C a Proces S

⁸ Melatonin tedy umožňuje usnutí, ale je zbytečný (6). Pokud jsou mozkové adenosinové receptory naplněny, tak tlak na spánek je tak velký, že člověk usne i bez navyšujícího se melatoninu.



Obrázek 8 - Množství vyplavovaného melatoninu v průběhu dne

1.5 Spánek

Spánek⁹ je mnoha lidmi vnímán negativně. Spánek pro ně znamená ztracený čas, který mohli věnovat jiné práci, ať jde o fyzickou nebo psychickou. Spánek se evolučně vyvíjel s lidmi, pokud by spánek nepotřebovali, tak by ho evoluce s největší pravděpodobností z lidského života vyškrtla. Dle mnohých studií byla dokázána opojná síla spánku, díky které je člověk schopen existovat, naopak bez spánku není. Důkaz toho, že bez spánku nejsou lidé schopni existovat, podal za svůj vlastní život Michael Corke, u kterého jako prvního byla diagnostikována fatální familiární insomnie (FFI) (36). Corke nebyl postupem času schopen spát, nejdříve spal krátce a později vůbec. Po více jak půl roce bez spánku nebyl schopen se obléci, přepadaly ho halucinace a téměř nedokázal mluvit. Po několika dalších měsících zemřel (36). V následujících podkapitolách jsou popsány jednotlivé fáze spánku a jeho samotný význam. Spánek je komplexní problém, který do dnešní doby není dopodrobna pochopen, ale díky magnetické rezonanci mozku se člověk blíží stále blíží a blíží k pochopení celé problematiky (6).

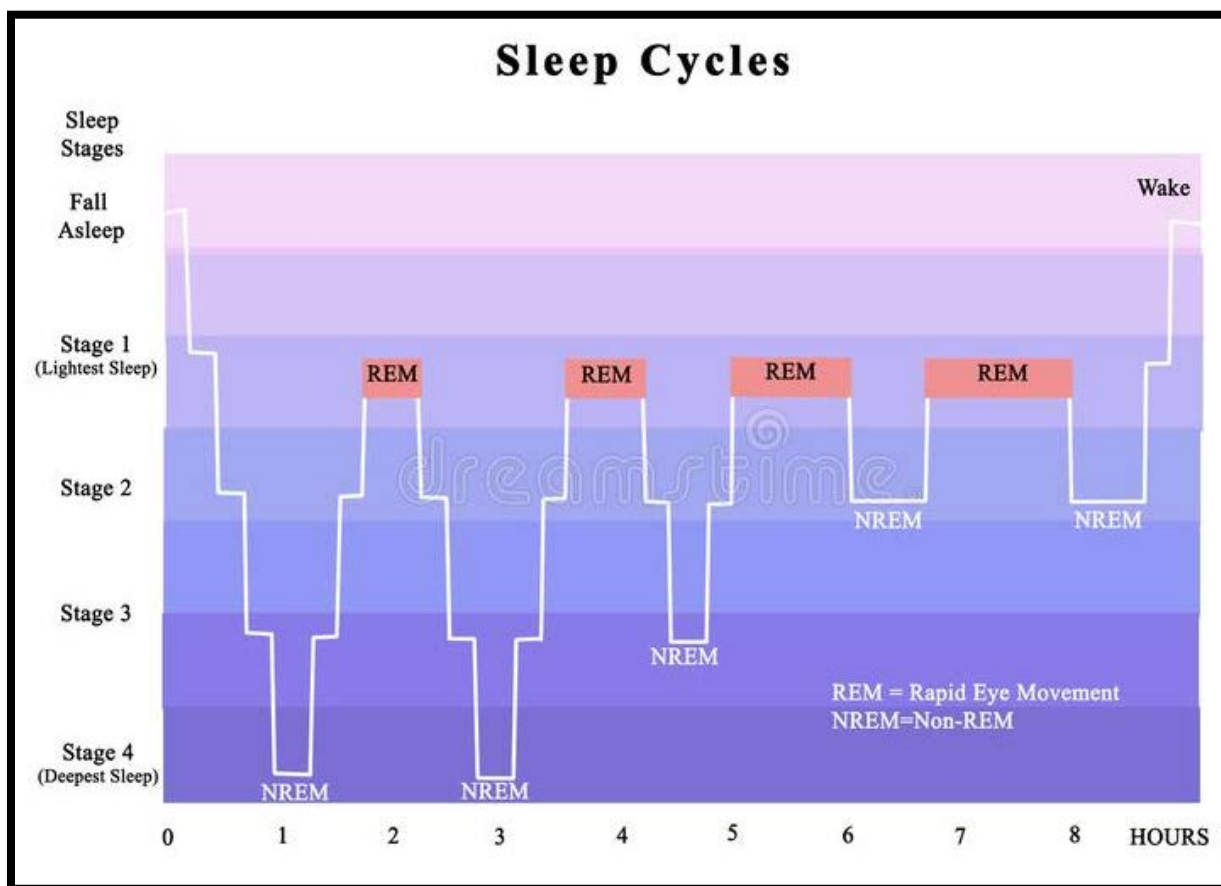
1.5.1 Spánek jako stav organismu

Spánek je stavem halucinací, dezorientovanosti a psychózy nebo alespoň všechny charakteristiky těchto stavů splňuje (6). Spánek se sestává z několika částí. Jak již bylo řečeno, před spánkem se začne vylučovat melatonin, v moment, co člověk ulehne do postele, započne

⁹ V celé práci je za plnohodnotný spánek brán spánek osmihodinový. Dále v textu pouze jako spánek.

fáze usínání, kdy se spínají spánkové obvody v mozku. Přeruší se spojení v thalamu¹⁰, tím člověk přestane vnímat svými smysly okolní svět (35). Člověku poklesne teplota těla a po chvíli vstoupí do spánku. Spánek je stimulován pomocí výše popsáných procesů S a C.

V moment, kdy člověk usne, se ocitá ve fázi lehkého spánku a postupně upadá stále hlouběji a hlouběji do spánku, jeho mozková aktivita klesá (obrázek 9 – Fall Asleep až Stage 4) (6) (37). Postupně se dostane až do fáze NREM 4 spánku (Stage 4). Dále se vrací zpět do aktivnějších fází spánku z pohledu mozkové aktivity, a to do REM spánku. Tento spánkový cyklus se opakuje několikrát za noc, každých devadesát minut nanovo. Zkraje noci se mozkový stav nachází převážně ve fázi NREM spánku, během noci se převaha mění a zrána je mozek ve větší míře v REM spánku (6). V pozdějších fázích spánku nedosahuje organismus tak hlubokého spánku, jako v dřívějších hodinách.



Obrázek 9 - Diagram fází spánku

1.5.2 REM spánek

REM spánek neboli Rapid Eye Movement spánek. Pro širokou veřejnost tento spánek znamená hlavně dobu, kdy dle samotného názvu oči vykonávají kmitavý pohyb. Nejde tak ale ani o oči,

¹⁰ Thalamus – hladká oválná část mozku, která zajišťuje bránu smyslových vjemů.

jako o lidský mozek. Během této fáze je mozková aktivita téměř srovnatelná s tou, jako za bdělého stavu, někdy je dokonce i vyšší (38). Při přechodu do REM spánku je sice mozková aktivita na svém vrcholu, ale celé tělo v tento moment nemá téměř žádný tonus v příčně pruhovaném svalstvu. Evoluce svaly omezila tímto způsobem hlavně proto, že v této fázi se lidem zdají sny a může se stát, že budou pohybové vzruchy přenášeny do reality ze snu (6) (38). Dalším benefitem je absolutní odpočinek svalstva.

Zablokovaná smyslová brána thalamu se naopak otevře (oproti zbytku spánku), ale nedopřeje lidem získávat informace z okolí (38). Naopak se mozkem díky thalamu šíří emocionální signály, vzpomínky a myšlenky. O REM spánku se dá mluvit jako o spánkové verzi vědomí. Jako by si mozek hrál sám se sebou v době, kdy o tom nikdo netuší. Vymýšlí neskutečné kombinace, které by logicky smýšlející mozek nikdy nenapadly, po skončení spánku dopřeje člověku porozumění vztahů, které byly nejasné (39).

Pro příklad geniality REM spánku lze uvést slavného Mendělejeva, který celý život věřil v řád a hledal ho i mezi, do té doby známými, prvky. Jeho bádání nebralo konce. Jednoho dne se rozhodl, že na uspořádání přijde i za cenu omezení spánku. Po jeho několikadenní deprivaci usnul a během snu (REM spánku) se mu zdál sen, kde byla tabulka prvků. Přesně dle svého snu ji sestrojil ihned po probuzení a jen na jediném místě byla chyba. Takové snové zjevení mělo i mnoho zpěváků a zažívá je každý člověk, každou noc. Díky REM spánku se lidem dostává pochopení složitých souvislostí (6).

Účastníci studií, kterým bylo zabráněno spát v REM spánku¹¹, byli náchylnější k emocionálně vypjatým stavům. REM spánek funguje v těle jako noční psycholog, který člověku dopravá úlevy od emocí. Emoce se tak stávají pouhou vzpomínkou a opětovná reakce na danou emocionálně vypjatou skutečnost je minimální. Stejní účastníci studií tloustli oproti skupině, které nebylo zabráněno spát v REM spánku, a častěji se jim dostavovaly migrény. Posledním důležitým aspektem REM spánku je, že člověku pomáhá v učení se novému následující den. (6) (40).

Průměrná doba, kterou člověk v REM spánku stráví se pohybuje v rozmezí od 20 do 25 % z celkové doby spánku (38).

1.5.3 NREM spánek

Opozitní fází REM spánku je NREM spánek, který je zkratkou Non Rapid Eye Movement spánku. V této fázi se oči nehýbají. NREM spánek je opozitní také mozkovou aktivitou, která je velice nízká, i když dochází k častým výkyvům (38). NREM spánek slouží jako velký přenašeč informací z dočasného uložení v mozku, které je plněno během dne, do dlouhodobé paměti. NREM spánek se sám může dělit ještě na čtyři nižší spánkové fragmenty, NREM 1 po celých číslech do NREM 4, kdy se stoupajícím číslem roste hloubka spánku, a tím i klesá mozková aktivita (viz. obrázek 9) (6).

¹¹ Pomocí alkoholu nebo neustálého probouzení při přechodu do REM spánku.

Za nejužitečnější spánek z pohledu NREM spánku se považuje právě nejhlubší fáze 4. Pokud se v běžné situaci mluví o hlubokém spánku, je řeč právě o NREM 4 (případně i o NREM 3) spánku (39). Tělo jedince se nachází ve stavu nejnižších mozkových vln, většinou nedochází ke snění. V této fázi si organismus nejvíce odpočine. U fáze NREM 1 se jedná o přechodové stádium mezi vědomím a spánkem, popřípadě mezi NREM a REM spánkem. NREM 2 je lehký spánek (6).

NREM 3 spánek zaujímá pouhých deset minut z celkového spánku (pokud uvažujeme osmihodinový spánek). Nejhlubší fáze NREM 4 zabírá od pěti do dvaceti procent. Fáze NREM 1 a 2 jsou jakýmsi tmelem mezi spánkem REM a NREM 3/4. Tyto fáze naplňují zbylý čas spánku. (38).

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část využívá výše zmíněných informací, které se opírají o nedávné studie na poli neurovědy a techniky. Sumarizací všech předešlých kapitol dospívám k několika závěrům. Světlo je pro člověka důležitou složkou synchronizace, při nesprávném užívání může vést až ke ztrátě cyklů melatoninu a dezorientaci cirkadiality. Cílem praktické části je zjistit, zdali MSSS ovlivňuje dobu usínání a samotný spánek. Praktické části jsem se zúčastnil sám jako autor osobně, celkově jsem podstoupil pečlivou přípravu na měřené období, abych získal silný cirkadiánní rytmus. (v textu označováno jako hlavní měření). Společně se mnou se kratší verze experimentu zúčastnilo pět dobrovolníků ve věku 18 let s odchylkou jednoho roku. Dále v textu jsou označováni jako kontrolní skupina. Tato skupina dobrovolníků nepodstoupila přípravnou fázi, jejich cirkadiánní rytmus a cyklus melatoninu nebyly tak citlivé na změnu.

Všichni zkoumaní dobrovolníci netrpěli žádnou diagnostikovanou spánkovou poruchou. Netrpěli spánkovými problémy ani problémy s usínáním.

2.1 Hypotéza

Člověk plyne časem pomocí svého přirozeného cirkadiánního cyklu. Přirozeně má nastavený čas, kdy by měl nejlépe spát. Tento čas se nachází ve fázi noci pro SCN. Tento čas se dá lehce posunout dopředu pokud v době, kdy má SCN noc zasvítíme MSSS (popsáno v 1.4.1). Tento posun vyvolá okamžité posunutí směrem k pozdějším hodinám. Pokud navečer člověk používá MSSS, tak posouvá i začátek spánku. Měřením doby usínání mezi stejnými časovými úseky v průběhu dní za MSSS a bez MSSS bychom měli získat jasný rozdíl. Za MSSS se cyklus posouvá dopředu, a proto by měla být doba usínání delší.

Z kapitoly 1.5 vyplývá, že spánek není stejný v průběhu noci. Zkraje noci je spánek více NREM, ke konci naopak REM. Pokud budeme měřit hodnotu doby strávené v REM a NREM spánku za MSSS, měla by tato doba být nižší v obou případech. REM spánek za MSSS dosahuje maxima v pozdějších hodinách, jelikož cyklus je posunutý. Hluboký NREM spánek by mohl být nedostatkem melatoninu v organismu v brzkých hodinách také snížen.

2.2 Princip měření

K měření je využíváno náramkových hodinek Samsung Galaxy Watch Active 2 44 mm. Hodinky disponují senzory: akcelerometr, barometr, gyro senzor, snímač srdečního tepu, senzor světla. Na základě těchto senzorů hodinky měří spánek. Data z hodinek určí i započítání spánku. Hodinky svá data odesílají do mobilního zařízení, kde jsou shromažďována ve formě ukazatelů. Z hodnot uváděných z hodinek jsou postaveny grafy v následujících kapitolách.

Náramkové hodinky na základě dat vyhodnocují, jaký spánek právě probíhá. Vyhodnocení je určená na základě algoritmů. Algoritmus vychází z údajů o pohybu od gyro senzoru a tepové frekvence. V minulosti se hodinky často lišily svými hodnotami od přesných měření pomocí EEG. V dnešní době se hodinky zdokonalily tak, že dokáží spánek předpovědět téměř přesně.

Pokud spánek není velice fragmentovaný hodinky dokáží měřit spánek s minimální odchylkou. Hodinky užité v této práci jsou nejnovějším modelem s doposud nejlepšími senzory.

2.2.1 Doba usínání

Doba usínání, doba mezi ulehnutím do postele a dobou, kdy hodinky vyhodnotí započítání spánku. Hodinky jsou schopny vyhodnotit, kdy se organismus nachází ve spánku a kdy do tohoto stavu přešel. Dobrovolníci si zapisují časy, kdy zhasínají poslední zdroj světla a uléhají do postele. Po probuzení hodinky ukáží čas, kdy organismus přešel do stavu spánku. Výsledným odečtem zapsané hodnoty ulehnutí a změření hodnoty usnutí dospějeme k době potřebné pro započítání spánku. Počátek doby, kdy se tento parametr začíná počítat, je, když měřený subjekt vypne poslední zdroj světla.

2.2.2 Spánková data

Hodinky dokážou měřit přibližné jednotlivé fáze spánku. Výsledkem je výpis hodnot dle doby strávené v jednotlivých fázích spánku, hodnoty jsou uvedeny pouze pro dobu REM spánku, hlubokého (NREM 3,4), mělkého – lehkého (NREM 2) a probuzení (doba, kdy hodinky nevidují spánek ani aktivitu). Druhým výstupem hodinek ze spánku je spánkový graf zaznamenávající střídání jednotlivých fází spánku a jeho kontinuitu (stejně jako na obrázku 7). Součtem jednotlivých fragmentů daného typu spánku dospějeme k celkové době strávené v daném spánku.

2.3 Optimalizace přesnosti výsledků

Pro co největší přesnost jsem osobně podstoupil dva měsíce přípravné fáze před testovacím obdobím. Hlavními body mé přípravy bylo: Zpravidelnit spánek a usínání, vyvážit stravu a aktivitu a vyvarovat se všemu, co ovlivňuje negativním způsobem cyklus S nebo cyklus C (vyhýbaní se kofeinu). Po dvouměsíční přípravě jsem podstoupil měsíc měření všech faktorů. Během doby měření jsem chodil spát ve stejnou denní dobu, respektive jsem fázi usínání započal ve stejný čas. Během celého měsíce jsem držel striktní dietu, která byla každý den naprosto identická, stejně jako v přípravné dvouměsíční fázi, jídla byla podávána vždy ve stejných časech, kdy poslední přijaté jídlo bylo čtyři hodiny před spánkem. Pitný režim jsem omezil takovým způsobem, abych nepřijímal nadměrné množství vody před spánkem, neboli posledních 500 ml vody jsem přijal v průběhu třech hodin před spánkem. Stejně jako v přípravné fázi jsem se vymezil proti jakýmkoli stimulantům. Aktivita během dne byla z pohledu tréninku shodná v průběhu dvou týdnů. Tzn. druh tréninku se opakoval v periodě jednoho týdne. Večerní aktivity (příprava na spánek) probíhaly ve stejném řádu po celý měsíc, přesněji omezení světla devadesát minut před spánkem a večerní minimalizace činnosti. Tímto striktním chováním jsem se pokusil vytvořit co nejlepší podmínky pro měření. Opatření vycházejí z doporučení spánkové nadace (41). Zároveň v této přípravné době byla blokována MSSS.

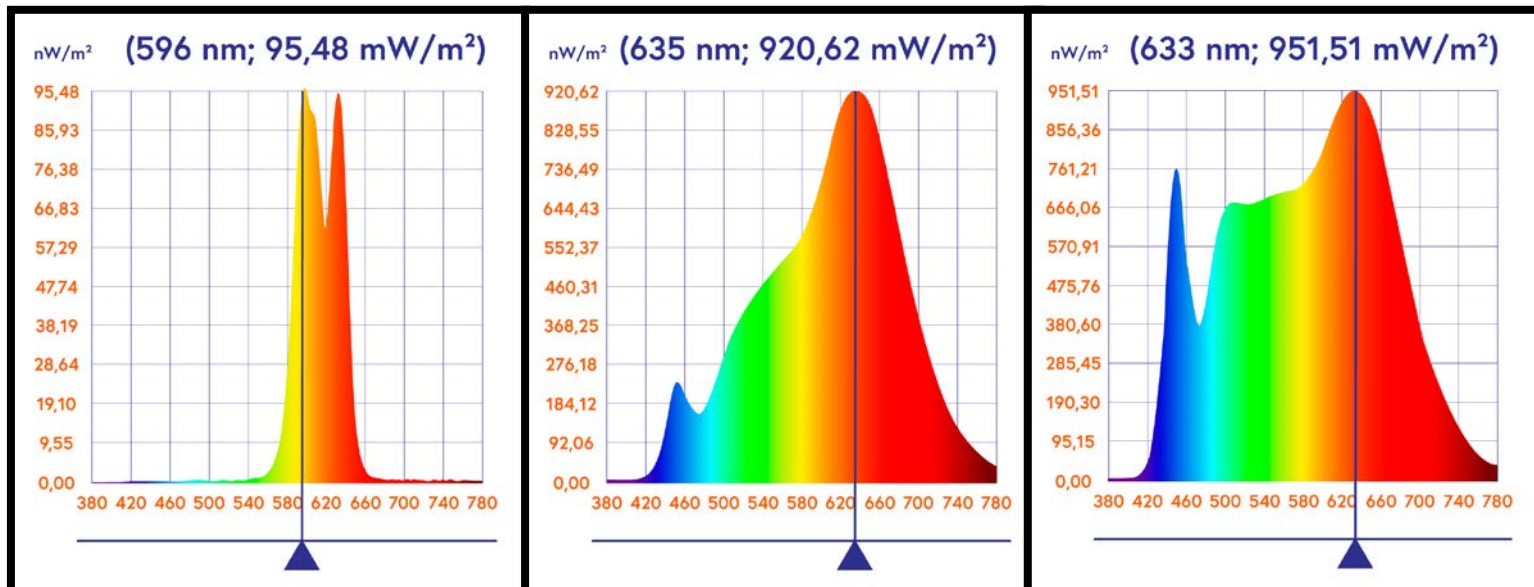
Dobrovolníci byli instruováni, aby před dobou měření zpravidelnili alespoň týden spánek. Dále, aby jejich přísun kofeinu vyrovnali na stejných dávkách a ve stejný čas. Při samotném měření chodili spát ve stejný čas a aby jejich přísun tekutin k večeru razantně upadal. Dobu měření podstoupili na čtrnáct dní, vždy jeden týden za MSSS druhý za absence MSSS.

2.4 Prostředky k ovlivňování spektra dopadajícího na sítnici oka před spánkem

2.4.1 Žárovky Vitae

Žárovky vyvinuté českým expertem na světlo Hynkem Medřickým, které se dají přepínat do třech kroků, kde první z nich má naprosté minimum MSSS (jak ukazuje obrázek 12). Při prvním kroku NOC je spektrální složení světla vycházejícího z žárovky omezeno pouze na červené a oranžové vlnové délky. Fáze NOC je určena na dobu předcházející bezprostředně spánku. Druhý krok, který se zapne po vypnutí a opětovném zapnutí žárovky se nazývá VEČER. Tento krok je spektrálně složen z malého zastoupení modré spektrální složky a dále se postupně zvětšuje zastoupení delších vlnových délek. Spektrální složení ukazuje obrázek 11. Fáze VEČER je určena pro relaxaci a večer. Poslední fázi, která se zapne opětovným zapnutím po vypnutí je fáze DEN. Tato fáze se snaží co nejlépe přiblížit dennímu světlu, má tedy spektrálně plné a vyvážené spektrum, tak jak ukazuje obrázek 12. Fáze DEN je určena pro denní práci.

Výrobce žárovek: AS 2031 s. r. o. Sázavská 2031/32 120 00 Praha 2 – Vinohrady



Obrázek 12 - Vlnová délka žárovky Vitae na krok NOC
 Obrázek 11 - Vlnová délka žárovky Vitae na krok VEČER
 Obrázek 10 - Vlnová délka žárovky Vitae na krok DEN

2.4.2 Brýle blokující krátké vlnové délky

Plastové brýle (připomínající laboratorní brýle), které díky svým příměsím absorbují modré vlnové délky, respektive krátké vlnové délky, a nechají projít pouze delší vlnové délky, jak ukazuje obrázek 13. Proto jsou brýle na světle červené, tedy odrážejí pouze delší vlnové délky.

Výrobce je stejná společnost jako v případě žárovek Vitae.



Obrázek 13 - spektrum světla procházejícího skrze červené brýle

2.5 Průběh experimentu

2.5.1 Princip expozice modré spektrální složce světla

Hlavní měření: V prvních dvou týdnech měření jsem měřil výsledky vystavení se modré spektrální složce tak, že v místnosti, kde usínám, jsem nainstaloval žárovky Vitae, které jsem před spánkem zapínal na krok DEN. Dále jsem se nijak neomezoval ve vystavování se modrému světlu z telefonu. Žádným způsobem jsem neomezoval MSSS. Na sítnici mého oka tak dopadala modrá spektrální složka světla těsně před dobou spánku.

Kontrolní skupina: Dobrovolníci při prvním týdnu měli pouze měřit svůj organismus a zapisovat data. Jejich osvětlení v domácnosti obsahovalo vždy MSSS, nebyly instalovány speciální zdroje. Světlo z mobilních zařízení nebylo nijak blokováno.

2.5.2 Princip expozice pouze delším vlnovým délkám

Hlavní měření: Po první fázi následuje bezprostředně fáze za absence MSSS. Z maximální expozice MSSS před spánkem, jsem změnil na absolutní minimalizaci MSSS po dobu následujících dvou týdnů. V místnosti, kde večer pobývám, jsem nainstalované žárovky Vitae zapínal pouze na krok NOC, při používání mobilního zařízení, jsem vždy měl nasazené červené brýle. Stejně tak při přechodu do jiné místnosti. Cílem bylo co nejvíce MSSS minimalizovat.

Kontrolní skupina: Dobrovolníkům byly poskytnuty brýle blokující MSSS. V místnosti, kde se zdržovali ve večerních hodinách, měli ztlumit zdroj světla. Čas na telefonu měli omezit co nejvíce ve večerních hodinách. Měření probíhalo po dobu jednoho týdne.

3 VYHODNOCENÍ DAT

Z hodnot, které byly získány z náramkových hodinek, jsem zpracoval data v návaznosti na jednotlivých dnech. Data byla zanesena do grafů dle doby v jednotlivých fázích spánku. Data srovnávají období za MSSS a aMSSS.

3.1 Doba usínání

Doba usínání byla vyhodnocována absolutně, bez odchylek či zaokrouhlování.

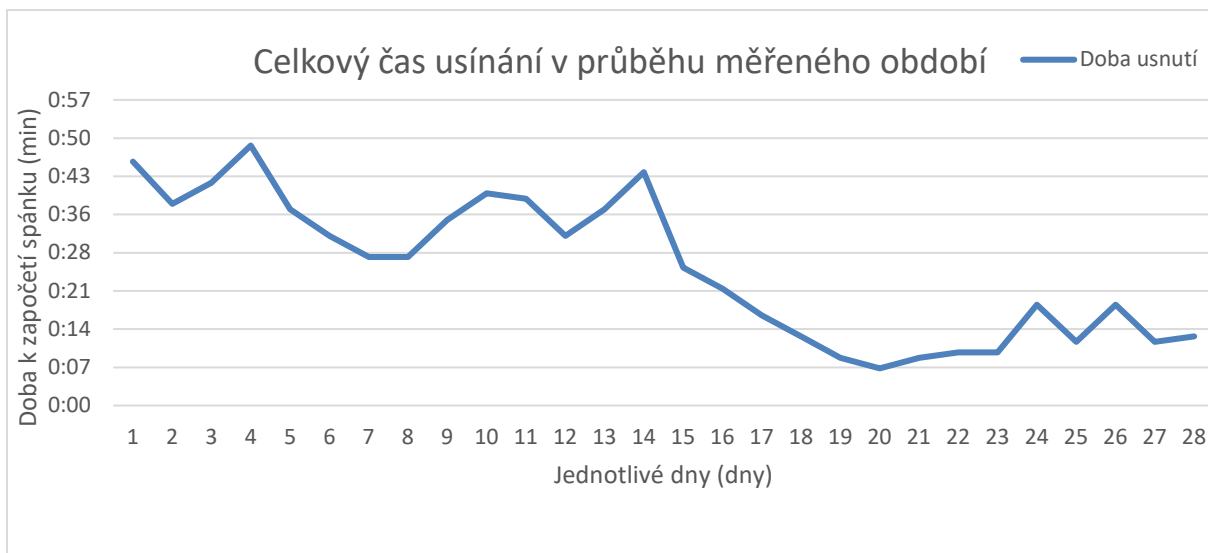
3.1.1 Hlavní měření

Data času potřebného k započetí spánku u hlavního měření jsou zanesena do grafu 1 a 2. První graf je celkovým grafem celého měřeného období, spojnice vyjadřuje propojení jednotlivých dat v průběhu dní.

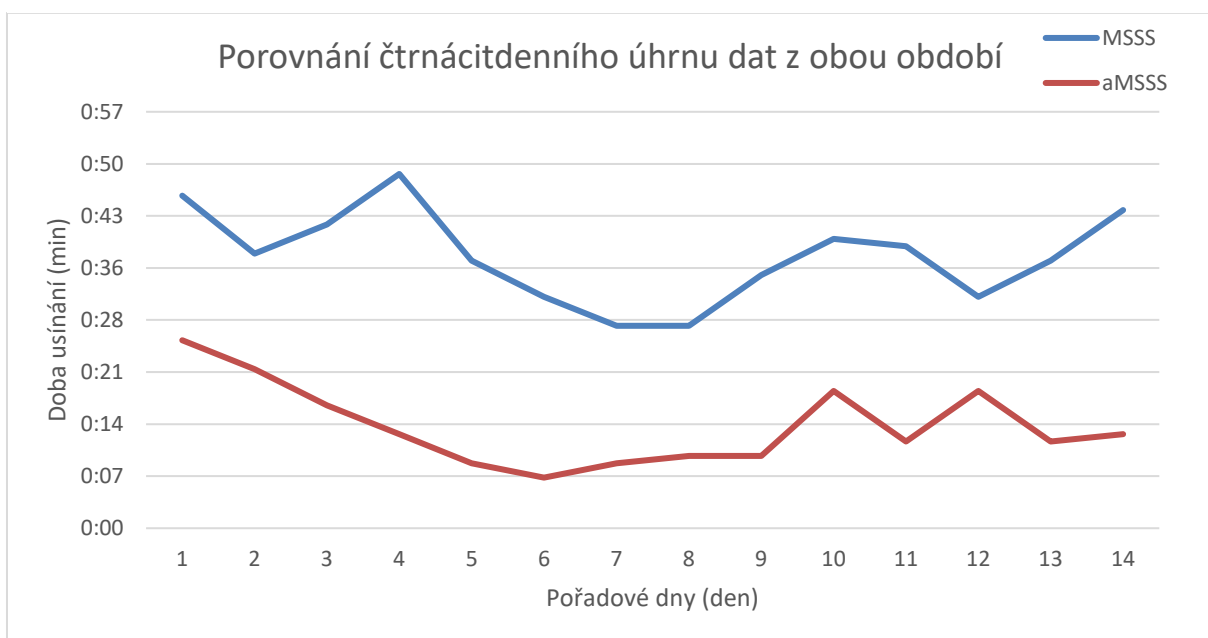
Celé období za MSSS se hodnoty držely na vysokých číslech. Průměr za toto období dosahuje **37 minut**. Po čtrnáctém dnu se situace změnila, postupnými poklesy hodnot mezi patnáctým a dvacátým dnem se čas snížil na minimum grafu – 7 minut. Pokles v těchto dnech je téměř lineární.

Po čtrnáctém dni nastalo měření za absence MSSS. Graf významně klesá a dosahuje absolutního minima v rámci celého měření. Dále se graf drží na minimálních hodnotách. Opět ani toto období nemělo jediný údaj, který by se podobal období za MSSS. Průměrná hodnota za toto období je **14 minut**.

Graf 2 porovnává obě období z pohledu jednotlivých dní. Zde vyniká skutečnost, že ani jediný údaj z jednoho období není podobný hodnotou druhému období. Porovnáním obou období získáváme: Průměrná doba usínání je za působení MSSS více jak **2,6násobná** oproti době za aMSSS.



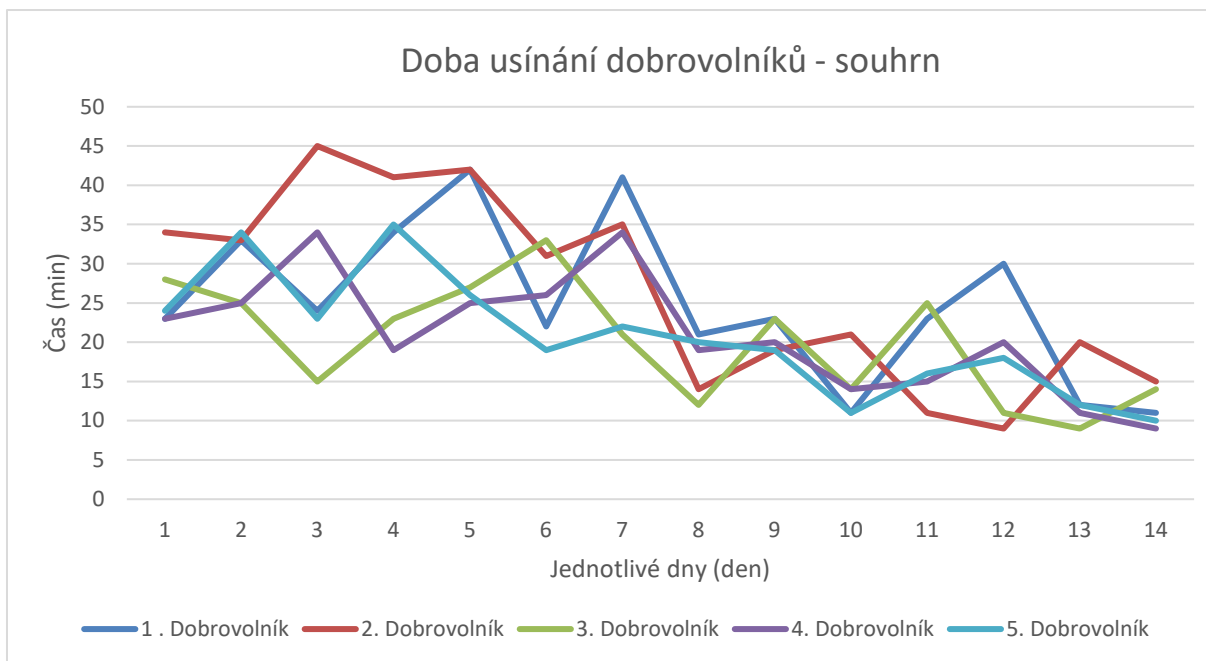
Graf 1 - Graf celkového času usínání za celé měřené období – hlavní měření



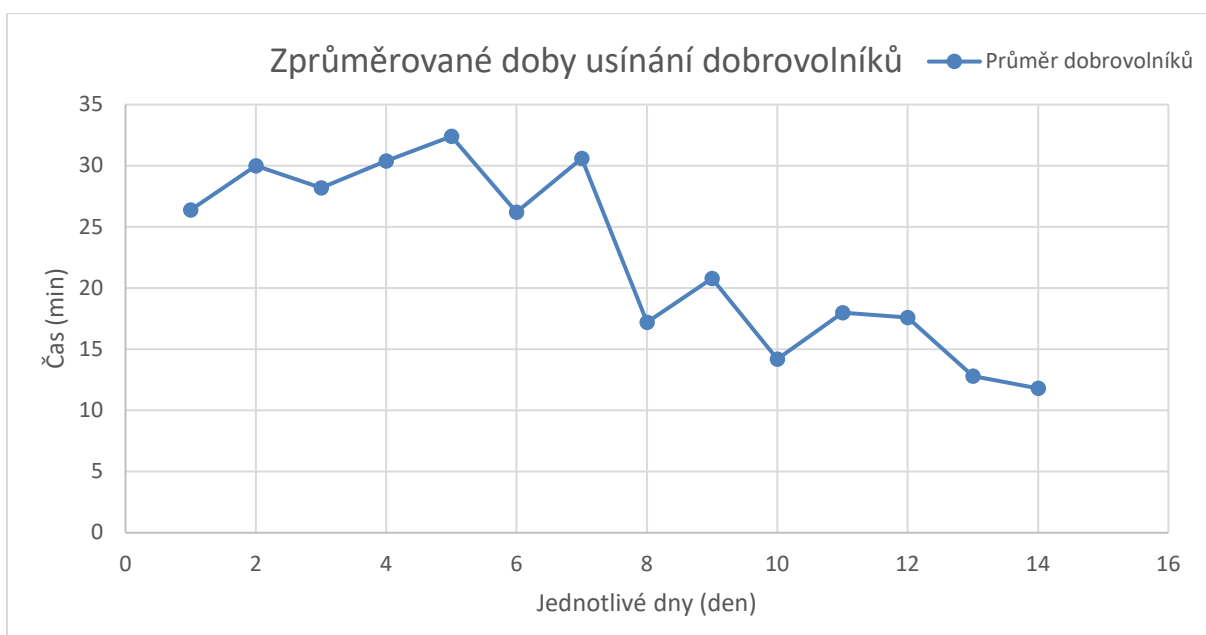
Graf 2 - Graf porovnání jednotlivých období z pohledu času usínání – hlavní měření

3.1.2 Kontrolní skupina

Pět dobrovolníků podstoupilo stejné měření. Graf 3 vyjadřuje všechna data všech pěti dobrovolníků. Kvůli nepřehlednosti grafu jsem hodnoty z jednotlivých dní zprůměroval v grafu 4.



Graf 3 - Souhrnný graf všech dat doby usínání dobrovolníků – kontrolní skupina



Graf 4 - Průměrná doba usínání v jednotlivých dnech – kontrolní skupina

Data z období za působení MSSS jsou zanesena na x-ové souřadnici mezi hodnoty 1 až 7, tedy první týden. Pokles mezi sedmým a osmým dnem je téměř o polovinu hodnoty z osmého dne. Dále se data drží na nízkých hodnotách.

U kontrolní skupiny se data téměř shodují s daty, které byl měřeny při měsíčním měření (hlavním měření). Průměrná doba usínání za působení MSSS je **29,2 minuty**. Průměrná doba usínání za aMSSS je **16 minut**. Rozdíl hodnot není tak vysoký jako v případě měsíčního měření (při měsíčním měření byl pokles více jak 2,6násobný) v případě kontrolní skupiny je pokles pouze **1,8násobný**. Kontrolní skupina tedy potvrdila výsledky hlavního měření.

3.2 Spánková data

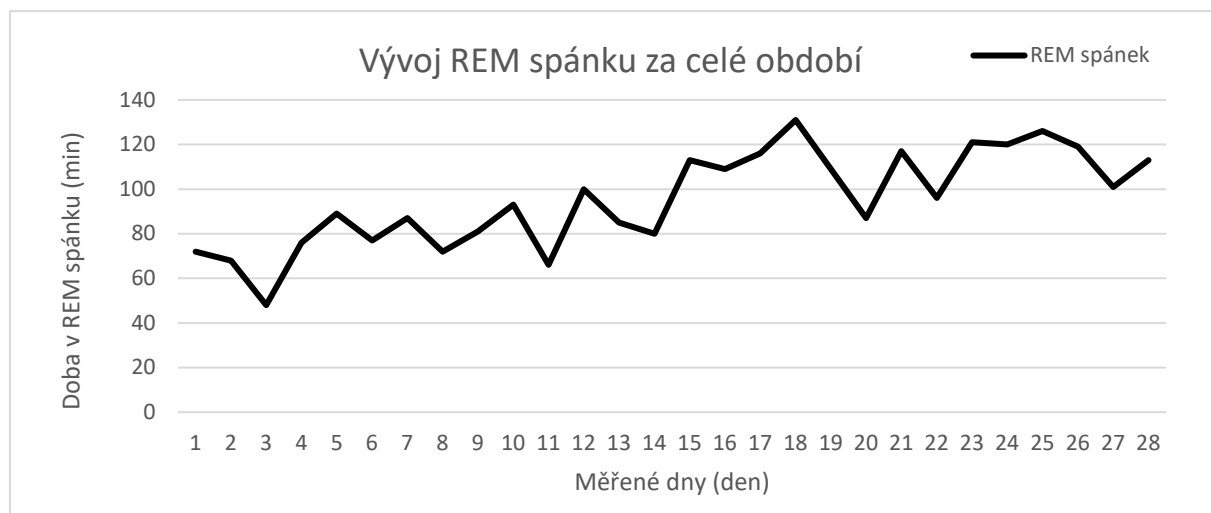
3.2.1 Hlavní měření – REM spánek

Spánková data REM spánku za celou noc vyjadřují spojnicové grafy 5 a 6. Graf 5 vyjadřuje celé měřené uvažované období (ne jako v případě doby usínání záporné hodnoty). Vidíme postupnou stoupající tendenci, a to téměř v rámci celého období. Předěl mezi jednotlivými obdobími není tak patrný.

Prvních 14 dní (za účinku MSSS) jsou hodnoty s průměrnou hodnotou **78 minut**¹². Hodnoty kolísají mezi minimy a maximy, nejnižší hodnota je na hodnotě 48 minut při třetím dnu. Maximální hodnota je 100 minut při dvanáctém dnu. Ihned po prvním dnu za aMSSS se hodnota REM spánku vyšplhala až na 113 minut.

Doba za aMSSS má průměrnou hodnotu REM spánku **113 minut**¹³. Z grafu 5 je patrné, že hodnoty v době za aMSSS někdy padají pod maximum doby za účinku MSSS, konkrétně 20. a 22. den. V tyto dny hodnoty byly 87 a 96 minut. Celkově se jinak hodnoty držely nad maximum doby za účinku MSSS. Maximum v tomto období dosahuje 131 minut a je také maximum absolutním.

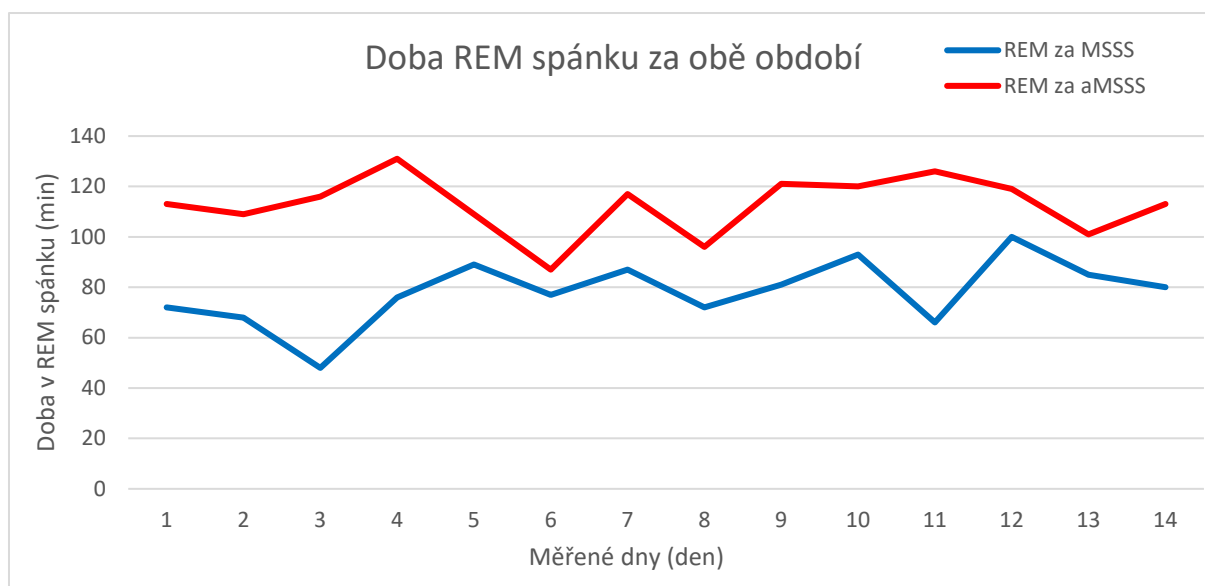
Graf 6 porovnává obě období (MSSS, aMSSS). Rozdíl průměrných hodnot za obě období je 34 minut. Tyto údaje poukazují na nárůst REM spánku v závislosti na MSSS.



Graf 5 - Vývoj REM spánku za celé období – hlavní měření

¹² 78 minut znamenalo z celkového měřeného času bez doby usínání **18 %** za dobu účinku MSSS.

¹³ 113 minut znamenalo z celkového měřeného času bez doby usínání **28 %** za dobu aMSSS.

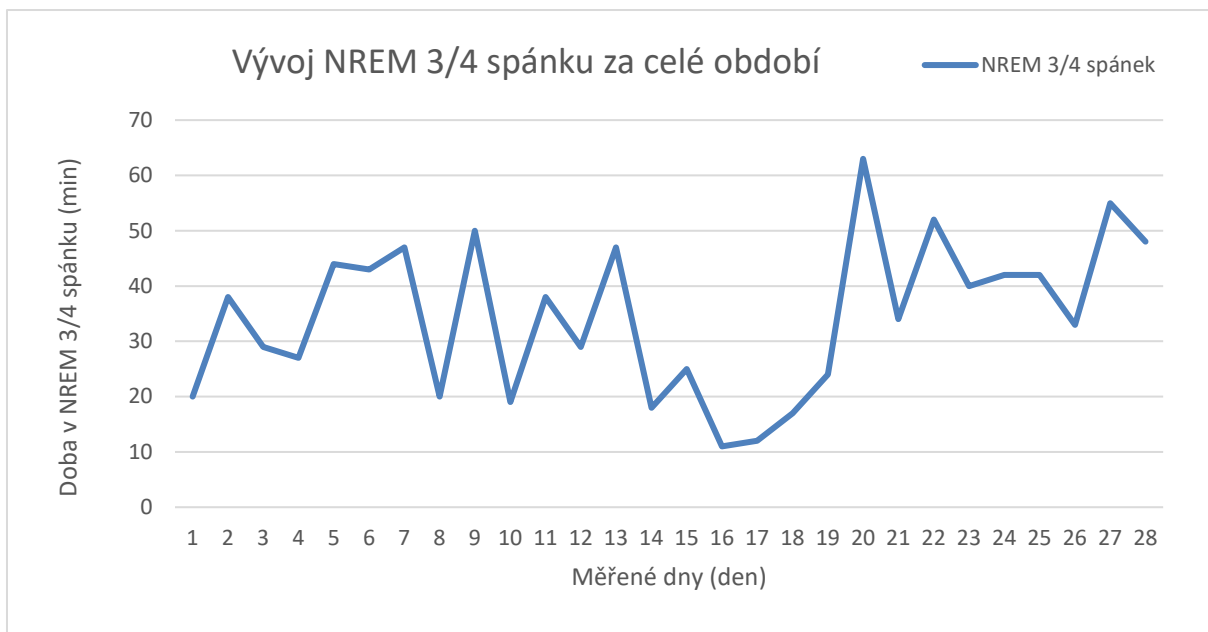


Graf 6 - Doba REM spánku za obě období – hlavní měření

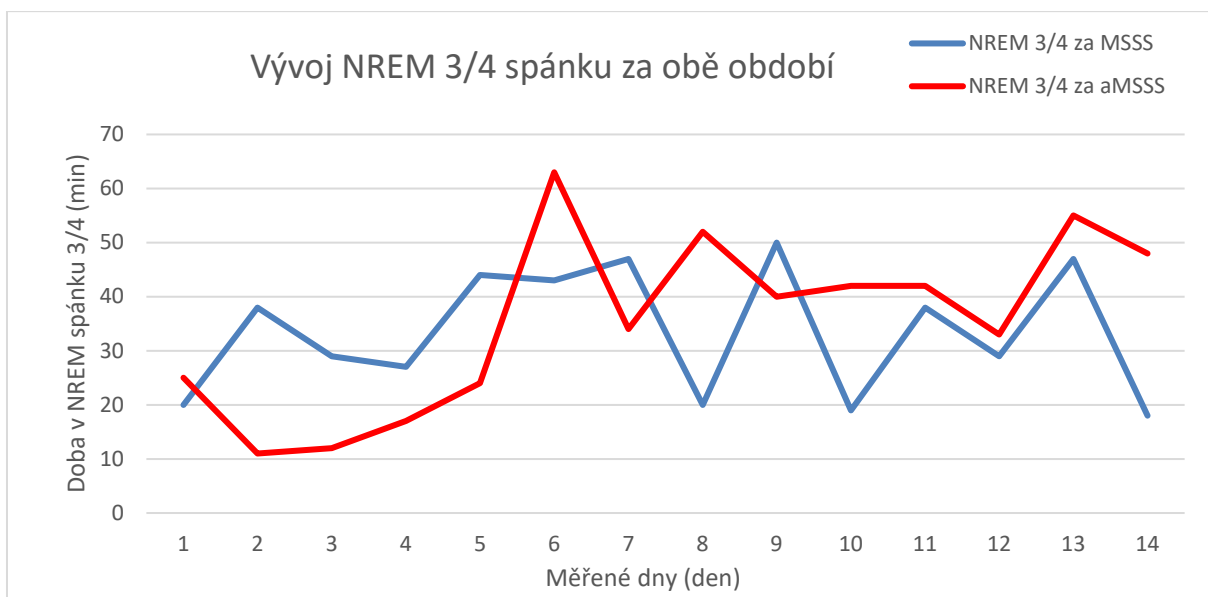
3.2.2 Hlavní měření – NREM spánek

Data NREM 3/4 (hlubokého) spánku jsou zanesena do grafů 7 a 8. Na grafu 7 se nachází celé měřené období. Data z prvního období (MSSS) se drží mezi 19 až 50 minutami. Hodnoty jsou velmi proměnné. Průměrně dosahovaly hodnoty 33,5 minut. Data za druhé období (aMSSS) jsou zanesena od 15. dne. Hodnoty se po tomto dni propady na absolutní minimum, na 11 a 12 minut.

Po absolutním minimu přišlo absolutní maximum a dále se hodnoty drží lehce výše, než tomu bylo za účinku MSSS. Data se zdají **neprůkazná**. Hluboký spánek za druhé období průměrně dosahuje 36 minut. Hodnota o 3 minuty vyšší nepředstavuje zásadní význam.



Graf 7 - Vývoj NREM 3/4 spánku za celé období – hlavní skupina



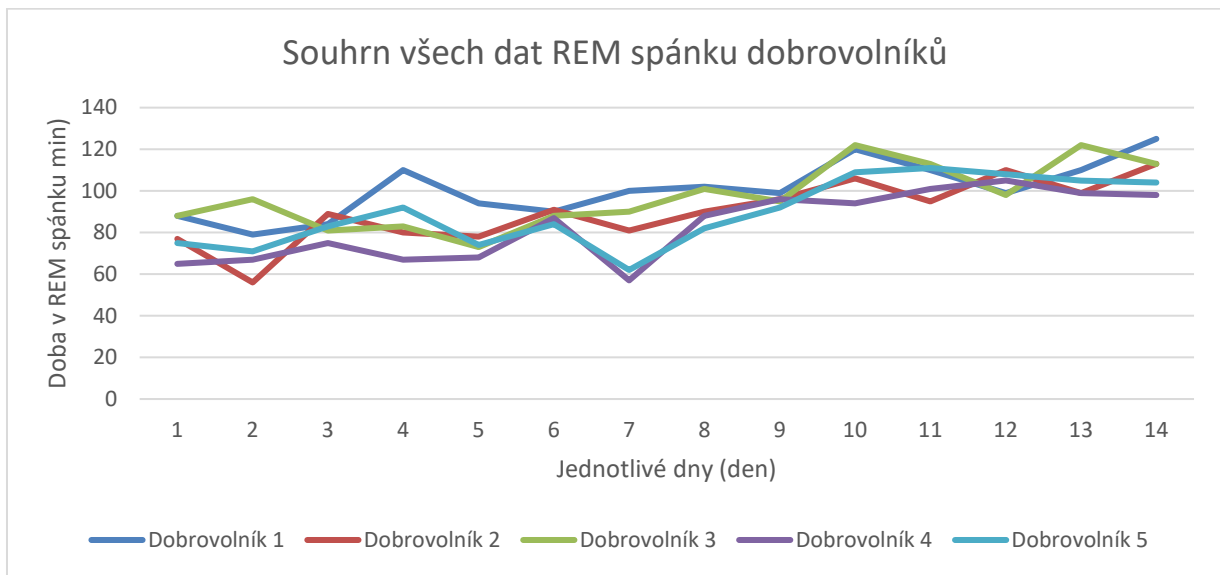
Graf 8 - Vývoj NREM 3/4 spánku za absence MSSS – hlavní měření

3.2.3 Kontrolní skupina – REM spánek

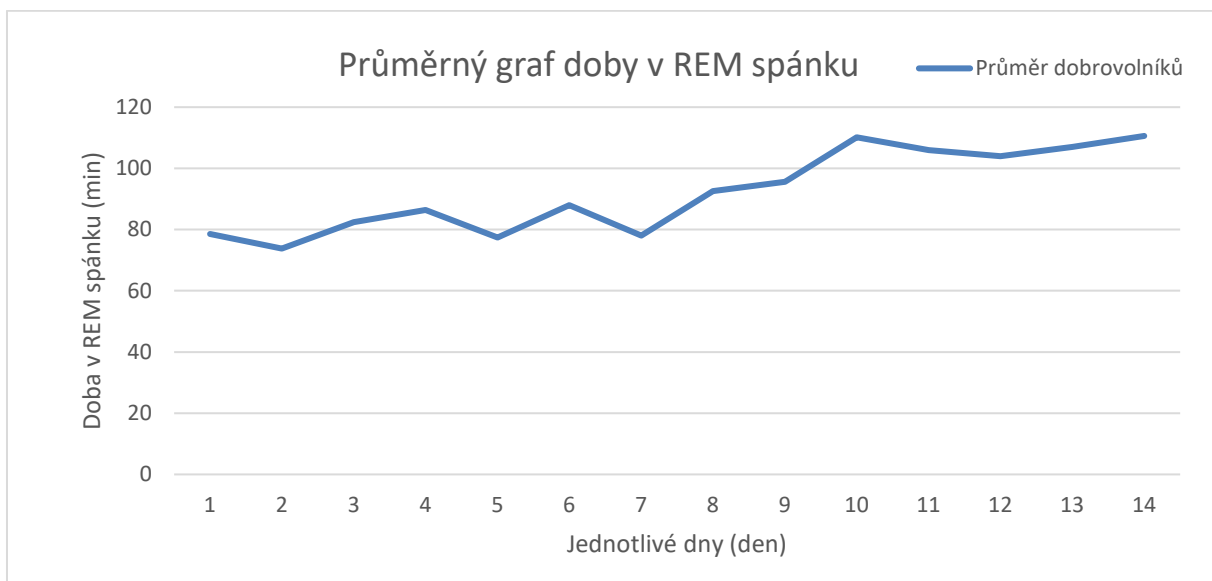
Spánková data kontrolní skupiny jsou zanesena na grafy 9 a 10. Graf 9 je analogií souhrnného grafu 3. Opět jde o čistě ilustrativní graf, který není příliš dobře čitelný. I přes nepřehlednost z grafu lze vyčíst postupný vzestup hodnot.

Graf 10 (jako průměr dat z grafu 9) podtrhuje skutečnost, že data stoupají. Tedy za MSSS se data drží průměrně na hodnotě **80,5 minut**. Po sedmém dni se hodnota REM spánku navýšila a průměrně dosahovala **103,7 minut** za období aMSSS.

Kontrolní skupina potvrzuje, že MSSS má negativní vliv na dobu strávenou v REM spánku. Celkový rozdíl je **23,2 minuty**¹⁴.



Graf 9 - Souhrn všech dat REM spánku dobrovolníků – kontrolní skupina



Graf 10 - Průměrný graf doby v REM spánku – kontrolní skupina

3.2.4 Kontrolní skupina – NREM spánek

Vzhledem k obrovským výkyvům, jsem se rozhodl nepokračovat v měření NREM 3/4 spánku u kontrolní skupiny. První data obdržená od kontrolní skupiny poukazovala na podobné

¹⁴ Za první období znamenalo 80 minut **18 %** z celkového spánku, za druhé období 103,7 minut znamenalo **24 %** z celkového spánku.

výkyvy. V rámci této práce je hloubka spánku obtížně měřitelná a data jsou orientační. NREM 3/4 spánek by mohl být předmětem navazující práce za pomoci lepšího technického vybavení.

Jak je vidět na grafu 8, křivky se často, nehledě na účinku MSSS, překrývají, účinek na spánek NREM 3/4 je buď minimální nebo žádný.

4 DISKUZE VÝSLEDKŮ

4.1 Doba usínání

Z dat v oddíle 3.1 jasně vyplývá, že MSSS významně prodlužuje dobu usínání. Pro hlavní měření byl pokles z doby za účinku MSSS do doby za aMSSS průměrně **2,6násobný**. Kontrolní skupina měla výsledky **1,8násobně nižší** za aMSSS než za MSSS. MSSS tedy přímo ovlivňuje dobu usínání.

Domnívám se, že receptory v oku ipRGCs jsou těsně před vypnutím posledního zdroje aktivní (v době za MSSS). Vysílají do mozku signál, že ještě nezačala noc (tedy tma). SCN registruje signál dne a nepřipravuje tělo na spánek. V okamžiku, kdy člověk ulehne do postele a kolem něj se nenachází žádný zdroj MSSS, se začne v mozku vytvářet informace, že nastala tma. SCN tělo začne připravovat na spánek až v okamžiku vypnutí všech okolních zdrojů s MSSS. Člověku (které netrpí spánkovou deprivací) tak trvá delší čas, než se otevrou brány spánku. Melatonin se začne vyplavovat ve větší míře až po 90 minutách od chvíle, kdy byl vypnut poslední zdroj světla s MSSS.

Celý posun zajišťuje cirkadiánní cyklus, který je posunutý dopředu kvůli večernímu svícení modrým světlem. Posun dále prohlubuje melatoninový nedostatek a také posouvá cirkadiánní bdělost.

Přebytečné minuty v posteli před spánkem ubírají organismu na odpočinku. Celkový spánek tím trpí, jelikož je obrán o ranní minuty kvalitního spánku. Člověk, který neblokuje MSSS si vytváří spánkovou deprivaci, tím svoje tělo vystavuje zbytečně stresu.

4.2 Spánková data

Z hlavního měření vyplývá, že při omezení MSSS před spánkem je spánek kvalitnější. Doba v REM spánku stoupla o **34 minut** oproti době za účinku MSSS. Kontrolní skupina měla výsledky téměř o polovinu nižší. Doba v REM spánku stoupla pouze o **23 minut**. Výsledek zůstává stejný, že REM spánek je negativně ovlivněn MSSS.

Rozdílnost osobně přisuzuji nedostatečné přípravě kontrolní skupiny. V obojím případě doba stoupla. Jsem toho názoru, že cirkadiánní cyklus skutečně posune spánek. Spánek se projevuje se zpožděním. Amplituda REM spánku se projevívá v pozdějších ranních hodinách. Člověk tak kvůli pravidelnému vstávání nestihne strávit dostatek doby v REM.

Kvalita spánku z pohledu NREM 3/4 není (dle dat hlavního měření) ovlivněna MSSS. Nárůst průměrné hodnoty doby za účinku MSSS a doby za aMSSS je necelé tři minuty, vzhledem k obrovským výkyvům hodnot je tento ukazatel neprůkazný. Opět se nabízí navazující práce, a to přesně měřit účastníky studie laboratorním vybavením, tím vynést soud nad spojitostí mezi MSSS a NREM 3/4 spánkem (hlubokým spánkem).

Osobně se domnívám, že doba, kdy člověk prochází hlavními fázemi NREM 3/4 se v závislosti na MSSS liší. Celkově dosahuje maxima v prvních cyklech spánku. Jelikož spánek bude pouze posunutý, tak NREM 3/4 stále stihne svého maxima dosáhnout.

MSSS ovlivňuje negativně spánek člověka hlavně na poli REM spánku. Člověk s omezeným REM spánkem dosahuje nižší schopnosti se učit novému. Je více emocionálně labilní a nedostává se mu dostatku terapeutických účinků REM spánku. Zároveň nedostatek REM spánku člověku přidává na váze a způsobuje mu častější migrény (více v oddílu 1.5.2)

ZÁVĚR

Práce potvrdila prvotní hypotézu. Z hlavního měření se výsledný čas za MSSS usínání **prodloužil 2,6násobně** oproti době za aMSSS. Kontrolní skupina potvrdila hypotézu **1,8násobným prodloužením**. Bylo dokázáno, že MSSS posouvá cirkadiánní cyklus směrem dopředu. Cyklus spánku je posunutý, stejně tak počátek spánku. Počátek spánku se realizuje v pozdějších hodinách. K době usínání přidává čas také minimum melatoninu v organismu za MSSS před spánkem. Organismus netuší, že nastala tma, nepřipravuje tělo na spánek. I z nedostatečné přípravy pramení doba prodloužení doby usínání.

Práce na době usínání potvrzují i mnohé studie. Společně dokládají, že MSSS a světlo samotné velice zásadně ovlivňuje člověka. Na MSSS nemusí být nahlíženo pouze z negativního úhlu. Studie může přispět při cestování přes časová pásma, kdy posun času je žádoucí. Pokud svítíme navečer, posouváme se více k západnímu světu. Pokud letíme na západ, můžeme se připravit na případný jetlag tak, že dny před odletem budeme svítit v době naší subjektivní noci MSSS. Postupně se bude prodloužovat doba, kterou budeme vzhůru. Při samotném přeletu do jiné západní destinace pro nás bude posun snesitelný. Opačně funguje cestování na východ. V tomto případě je dobré svítit velice omezeně ve večerních hodinách, a naopak utnout ranní subjektivní noc. Tak se posune cirkadiánní čas dozadu.

Výsledky z doby usínání nemusí mít význam pouze pro létání. Mnoho lidí špatně usíná nebo dokonce trpí insomnií. Osvěta kolem MSSS a prodloužení doby usínání by byla na místě, aby se více lidí s těmito problémy dozvědělo o jedné z hlavních příčin jejich problému.

Druhá polovina práce prokázala hypotézu. REM spánek se za MSSS snížil o 34 minut u hlavního měření. Snížení REM spánku potvrdila i kontrolní skupina hodnotou 23 minut. Hodnoty kolem půl hodiny jsou pro člověka znepokojující. REM spánek je pro člověka významný a zabírá průměrně 20 % spánku. Pro osmihodinový spánek je doba v REM spánku lehce přes hodinu a půl. Snížením o půl hodinu se člověk připravuje až o jednu třetinu celého REM spánku. Snížením REM spánku dochází k horším behaviorálním schopnostem a zhoršené schopnosti učit se. Navíc člověk není odolný vůči psychicky vypjatým situacím.

Výsledky z druhé poloviny poukazují na posunutí amplitudy REM spánku v rámci noci. REM spánek dosahuje maximální doby v pozdějších dobách, nestihne se všechen REM spánek projevit. MSSS posouvá celý cirkadiánní cyklus i se samotným spánkem.

Výsledky o snížení REM spánku za MSSS potvrzuje i nedávná studie, kde byly porovnávání dobrovolníci, kteří si večer četli knihu s dobrovolníky, kteří si četli e-knihu. U dobrovolníků s e-knihou došlo ke snížení doby REM spánku.

Praktické užití všech výsledků nezáleží na korporacích, ale na každém člověku zvlášť. Každý by měl pečovat nejen o hygienu zevnějšku, ale také o hygienu světelnou. Každý člověk má stejný cyklus založený na MSSS. Pokud nechce poškozovat svůj cyklus cirkadiánní a cyklus melatoninový, musí dbát na správné užití MSSS. Lidé by měli být více seznámeni s problémy vznikající kvůli MSSS. Šířit osvětu kolem MSSS je těžké, jelikož lidé neradi opouští komfort

kvůli zdraví. Přitom hygiena světlená je jednou z těch nejdůležitějších, a přitom si to uvědomuje jen minimum lidí. Sám jsem se pokusil seznámit veřejnost pomocí infografiky na sociálních sítích, aby si více lidí uvědomovalo, že světlo není samozřejmé a vždy zdravé. Zároveň se mi prací podařilo ukázat, jak snadné je měření svého vlastního spánku v závislosti na světlo. Každý může velice jednoduše porovnávat vlastní hodnoty spánku v jednotlivých dnech.

Z pohledu výrobců technologií se v nynější době také dějí kroky ke snížení MSSS ve večerních hodinách. Na moderních zařízeních si může člověk zapnout čtecí režim, režim snižující modrou atd. Bohužel pouhým snížením MSSS se sice uleví očím, ale cirkadiánní cyklus je stejně ovlivněn. Proto bych rád urgoval společnosti vytvářející moderní technologie, aby svůj systém patřičně přizpůsobili. Například poslední modely telefonů od značky iPhone dovolují uživateli přepnout telefon do stavu, kdy nevyzařuje žádné MSSS. Bohužel tato značka je výjimkou na trhu technologií, která toto umožňuje.

Jako autor bych si velice přál, aby práce byla zopakována či rozšířena a posloužila jako pilotní práce zkoumající poruchy REM spánku kvůli MSSS. Replikace by mohla přinést přesnější data pomocí speciálního vybavení a většího vzorku účastníků studie. Zároveň v práci nebyla zahrnuta kontinuita spánku, která by se mohla také vlivem MSSS zhoršovat. Dalším možným rozvinutím práce, by mohla být studie, jak moc ovlivňují dané vlnové délky světla REM spánek. Práce kolem MSSS a spánku člověka je mnoho, je otázkou času, než lidé objeví další problémy spojené s cirkadiánními cykly, spánkem a MSSS.

Na závěr vyzývám každého čtenáře, aby i on dbal na světelnou hygienu a nechal pracovat svůj cirkadiánní cyklus tak, jak se vyvinul. Aby nesvítil ve večerních hodinách MSSS a ideálně celé MSSS blokoval.

Vít Pavlík

PŘÍLOHY

Soupis grafů

Graf 1 - Graf celkového času usínání za celé měřené období – hlavní měření.....	33
Graf 2 - Graf porovnání jednotlivých období z pohledu času usínání – hlavní měření	33
Graf 3 - Souhrnný graf všech dat doby usínání dobrovolníků – kontrolní skupina	34
Graf 4 - Průměrná doba usínání v jednotlivých dnech – kontrolní skupina.....	34
Graf 5 - Vývoj REM spánku za celé období – hlavní měření	35
Graf 6 - Doba REM spánku za obě období – hlavní měření	36
Graf 7 - Vývoj NREM 3/4 spánku za celé období – hlavní skupina.....	37
Graf 8 - Vývoj NREM 3/4 spánku za absence MSSS – hlavní měření.....	37
Graf 9 - Souhrn všech dat REM spánku dobrovolníků – kontrolní skupina	38
Graf 10 - Průměrný graf doby v REM spánku – kontrolní skupina.....	38

Soupis a zdroje obrázků

Obrázek 1 - Vlnové spektrum světla dle barevných škál	12
Obrázek 2 - Rozptyl během dne	14
Obrázek 3 - Řez zrakovým aparátem	16
Obrázek 4 - Struktura sítnice.....	17
Obrázek 5 - Period gene a jeho represe.....	20
Obrázek 6 - Posun lidského organismu na základně SCN a světlených impulzů	21
Obrázek 7 - Proces C a Proces S	23
Obrázek 8 - Množství vyplavovaného melatoninu v průběhu dní	24
Obrázek 9 - Diagram fází spánku.....	25
Obrázek 10 - Vlnová délka žárovky Vitae na krok DEN.....	30
Obrázek 11 - Vlnová délka žárovky Vitae na krok VEČER.....	30
Obrázek 12 - Vlnová délka žárovky Vitae na krok NOC	30
Obrázek 13 - spektrum světla procházejícího skrze červené brýle	31

1. **EYE Lighting International.** Understanding Light Spectrum. [online, b.r.] [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://eyelighting.com/lighting-technology-education/general-lighting-basics/light-spectrum>
2. **GSP.** Atmospheric Scattering. [online, 2020] [cit. 2021–02-06]. Dostupné z http://gsp.humboldt.edu/OLM/Courses/GSP_216_Online/lesson2-1/scatter.html
3. **Optika Hana Šafaříková.** Anatomie lidského oka. [online, 2021] [cit. 2021–02-06]. Dostupné z <http://www.optika-safarikova.cz/oko.html>

4. **Encyclopædia Britannica.** Diagram of the structure of the retina. In: Encyclopædia Britannica. Encyclopædia Britannica [online]. 2021 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/ganglion-cell#/media/1/1475543/100397>
5. **The Nobel Prize.** The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2017. [online, 2017] [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2017/press-release/>
6. **Agostino Patricia V., Bussi, Ivana L., and Carlos S. Caldart.** Circadian Timing: From Genetics to Behavior. [online, 2018] [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: https://brill.com/view/book/edcoll/9789004280205/B9789004280205_001.xml
7. **Minh quang duong.** Circadian rhythm, melatonin, adenosine, caffeine and sleep [online, 2018] [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://onepercentamonth.com/2018/08/23/circadian-rhythm-melatonin-adenosine-caffeine-and-sleep/>
8. **BioNinja.** Melatonin. [online, 2020] [cit. 2021-02-06]. Dostupné z <https://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-6-human-physiology/66-hormones-homeostasis-and/melatonin.html>
9. **Vaenma.** Sleep Cycles. [online, 2020] [cit. 2021-02-06]. Dostupné z <https://depositphotos.com/218890456/stock-photo-cycles-rem-nrem-sleep.html>
10. **VITAE LIGHT.** Vitae. [online, 2020] [cit. 2021-02-06]. Dostupné z <https://www.vitaelight.com/>
11. **VITAE LIGHT.** Vitae. [online, 2020] [cit. 2021-02-06]. Dostupné z <https://www.vitaelight.com/>
12. **VITAE LIGHT.** Vitae. [online, 2020] [cit. 2021-02-06]. Dostupné z <https://www.vitaelight.com/>
13. **DESIGN-LIGHT.** Červené brýle – filtr modrého světla – tmavší – univerzální. [online, b.r.] [cit. 2021-02-06]. Dostupné z <http://www.design-light.cz/cervene-bryle-filtr-modreho-svetla-s-pouzdem.html#>

BIBLIOGRAFIE

1. **Astrophysics, Aldebaran Group for.** Astrofyzika. *Aldebaran*. [Online] 2017. [Citace: 24. 10 2020.] <https://www.aldebaran.cz/astrofyzika/sunsystem/slunce.php>.
2. **Lepil, Oldřich a Zdeněk, Kupka.** *Fyzika pro gymnázia 2. vydání*. Praha : Prometheus, 1995. ISBN 80-85849-71-2.
3. **HyberPhysics.** HyberPhysics. *HyberPhysics*. [Online] Georgia State University, 2016. [Citace: 27. 11 2020.] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/index.html>.
4. **Jirk, Aleš.** Optické jevy v atmosféře. *Fyzikální ústav Univerzity Kalovy*. [Online] Fyzikální ústav University Kalovy, 2008. [Citace: 27. 11 2020.] <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/download/130125372>.
5. **Panda, Satchin.** *The circadian code: lose weight, supercharge your energy, and transform your health from morning to midnight*. New York: Rodale : an imprint of the Crown Publishing Group, 2018. 14-73560-24-1.
6. **Walker, Matthew P.** *Proč spíme: odhalte sílu spánku a snění*. [překl.] Drlík Filip. Brno : Jan Melvil Publishing, 2018. 978-80-7555-050-7.
7. **Králová, Magda Mgr.** Absorpce slunečního záření. *Techmania Science Center*. [Online] Techmania Science Center, 24. 10 2020. [Citace: 24. 10 2020.] <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/meteorologie/slunecni-zareni/absorpce-slunecniho-zareni>.
8. **Wikisofia.** Principy vnímání barev – fyzikální a fyziologická omezen. *wikisofia*. [Online] Univerzita Karlova, 05. 01 2021. [Citace: 05. 01 2021.] [https://wikisofia.cz/wiki/Principy_vn%C3%ADm%C3%AD_barev_-_fyzik%C3%A1ln%C3%AD_a_fyziologick%C3%A1_omezen%C3%AD#:~:text=Zrak%2C%20tedy%20i%20vn%C3%ADm%C3%AD%20barev,Tak%20vznik%C3%A1%20zrakov%C3%BD%20vjem](https://wikisofia.cz/wiki/Principy_vn%C3%ADm%C3%A1n%C3%AD_barev_-_fyzik%C3%A1ln%C3%AD_a_fyziologick%C3%A1_omezen%C3%AD#:~:text=Zrak%2C%20tedy%20i%20vn%C3%ADm%C3%A1n%C3%AD%20barev,Tak%20vznik%C3%A1%20zrakov%C3%BD%20vjem).
9. **EngineeringToolBox.** Illuminance - Recommended Light Level. *Engineering ToolBox*. [Online] 2001. [Citace: 23. 11 2020.] https://www.engineeringtoolbox.com/light-level-rooms-d_708.html.
10. **Lehrl, S., a další.** Blue light improves cognitive performance. *ResearchGate*. [Online] 25. 1 2007. [Citace: 24. 11 2020.] https://www.researchgate.net/publication/6556740_Blue_light_improves_cognitive_performance.
11. **Bansal, Nishant, a další.** Effects of Blue Light on Cognitive Performance. *irjet*. [Online] 6. 6 2017. [Citace: 22. 11 2020.] <https://www.irjet.net/archives/V4/i6/IRJET-V4I6475.pdf>.

12. **Kudláček, Patrik.** Blue light: risk to your eyesight or unnecessarily overestimated phenomenon? *Cerva* . [Online] Cerva , 5. 9 2019. [Citace: 23. 11 2020.] <https://www.cerva.com/en/articles/modre-svetlo>.
13. **Weisbuch, Claude.** Historical perspective on the physics of artificial lighting. *ScienceDirect* . [Online] 01. 03 2018. [Citace: 23. 11 2020.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070518300306>.
14. **Mendelova, univerzita.** Teplota chromatičnosti. *Informační systém Mendelovy university v Brně.* [Online] 27. 10 2020. [Citace: 27. 10 2020.] https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9104.
15. **Hallmann, Caspar A., a další.** More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *Plosone*. [Online] 18. 10 2017 . [Citace: 28 . 11 2020.] <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0185809>.
16. **Bureš, Jiří.** Thomas Alva Edison. *conVERTER*. [Online] conVERTER, 2020. [Citace: 28. 11 2020.] <http://www.converter.cz/fyzici/edison.htm#:~:text=V%20roce%201879%20za%C4%8Daly%20prvn%C3%AD,to%20zatavit%20do%20sklen%C4%9Bn%C3%A9%20ba%C5%88ky>.
17. **Maierová, Lenka Maierová, Ing. arch., Ph.D.** Světelné prostředí a jeho vliv na společnost v průběhu historie. *Světlo časopis pro světlo a osvětlení* . [Online] 2. 3 2018. [Citace: 27. 11 2020.] <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/svetelne-prostredi-a-jeho-vliv-na-spolecnost-v-prubehu-historie--2781>.
18. **Wikipedia.** Light-emitting diode. *Wikipedia*. [Online] 23. 11 2020. [Citace: 23. 11 2020.] https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode.
19. **Dvořáček, Vladimír Ing.** *Odborné Časopisy*. [Online] S Lamp s.r.o. Panenské Břežany , 5 2009. [Citace: 11. 10 2020.] <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39810.pdf>.
20. **Konrádová, Václava.** *Funkční histologie 2. vydání*. Jinočany : H & H, 2000. 80-86022-80-3.
21. **Borovanský, Ladislav.** *Soustava anatomie člověka 4. vydání, opr. a z části pozměněn* . Praha : Avicenum , 1973.
22. **Weaver, D.R.** The suprachiasmatic nucleus: a 25-year retrospective. *PubMed*. [Online] 13. 8 1998. [Citace: 13. 12 2020.] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9554572/>.
23. **Bailes, J. Helena a Lucas, J. Robert.** Human melanopsin forms a pigment maximally sensitive to blue light ($\lambda_{\max} \approx 479$ nm) supporting activation of Gq/11 and Gi/o signalling cascades. *The Royal Society Publishing*. [Online] 22. 3 2013. [Citace: 22. 12 2020.] <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2012.2987>.

24. **Synek, Svatopluk a Skorkovská, Šárka.** *Fyziologie oka a vidění.* Praha 7 : Grada , 2014. 978-80-247-3992-2.
25. **Mendelova, univerzta.** Lidské oko. *Informační systém Mendelovy univerzity.* [Online] 29. 11 2020. [Citace: 29. 11 2020.] https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=770.
26. **Fain, Gordon a Sampath, P. Alapakkam.** Rod and cone interactions in the retina. *PubMed.* [Online] 23. 5 2018. [Citace: 23. 11 2020.] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29899971/>.
27. **Pickard, E. Gary a Sollars, J. Patricia.** Intrinsically Photosensitive Retinal Ganglion Cells. *Springer Link* . [Online] 9. 12 2011. [Citace: 2. 12 2020.] https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F112_2011_4.
28. **Dustin, M. Graham a Kwoon, Y. Wong.** Melanopsin - Expressing, intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs) by dustin M. Graham and Kwoon Y. Wong. *Webvision* . [Online] 20. 11 2016. [Citace: 30. 11 2020.] <https://webvision.med.utah.edu/book/part-ii-anatomy-and-physiology-of-the-retina/melanopsin-expressing-intrinsically-photosensitive-retinal-ganglion-cells/>.
29. **Harper, Douglas.** circadian (adj.). *Online Etymology Dictionary* . [Online] 11. 3 2021. [Citace: 11. 3 2021.] <https://www.etymonline.com/word/circadian>.
30. **Hall, Jeffrey C., Rosbash, Michael a Young, Michael W.** The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2017. *The Nobel Prize* . [Online] 02. 10 2017. [Citace: 11. 02 2021.] <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2017/press-release/>.
31. **Agostino, Patricia V., Bussi, Ivana L. a Caldart, Carlos S.** Circadian Timing: From Genetics to Behavior. *Brill.* [Online] 27. 3 2018. [Citace: 12. 03 2021.] https://brill.com/view/book/edcoll/9789004280205/B9789004280205_001.xml.
32. **Saper, B. Clifford.** The central circadian timing system. *PubMed* . [Online] 4. 4 2013. [Citace: 11. 12 2020.]
33. **Mistlberger, E. Ralph a Antle, C. Michael.** Entrainment of circadian clocks in mammals by arousal and food. *pubmed* . [Online] 30. 6 2011. [Citace: 13. 12 2020.] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21819388/>.
34. **PsychiatricTimes.** The Role of Melatonin in the Circadian Rhythm Sleep-Wake Cycle. *PsychiatricTimes.* [Online] 10. 7 2012. [Citace: 21. 12 2020.] <https://www.psychiatrictimes.com/view/role-melatonin-circadian-rhythm-sleep-wake-cycle>.
35. **Cajochen, C., K., Kräuchi a Writz-Justice, A.** Role of melatonin in the regulation of human circadian rhythms and sleep. *PubMed.* [Online] 12. 8 2003. [Citace: 22. 12 2020.] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12622846/>.

36. **Neuroscientificallychallenged.** Know your brain: Fatal insomnia. *Neuroscientifically challenged*. [Online] 19. 7 2018. [Citace: 29. 11 2020.] <https://www.neuroscientificallychallenged.com/blog/know-your-brain-fatal-insomnia>.
37. **Bode, Brid, a další.** Advanced light-entrained activity onsets and restored free-running suprachiasmatic nucleus circadian rhythms in *per2/dec* mutant mice. *PubMed*. [Online] 29. 8 2012. [Citace: 13. 12 2020.]
38. **NationalAcademyofScience.** Sleep Disorders and Sleep Deprivation: An Unmet Public Health Problem. *National Center for Biotechnology Information*. [Online] 2006. [Citace: 11. 01 2021.] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK19956/>.
39. **Nierenberg, Cari.** REM vs. Non-REM Sleep: The Stages of Sleep. *livescience*. [Online] 20. 7 2017. [Citace: 27. 12 2020.] <https://www.livescience.com/59872-stages-of-sleep.html>.
40. **Leonard, Jayne.** What is REM sleep? *MedicalNewsToday*. [Online] 1. 9 2017. [Citace: 22. 02 2021.] <https://www.medicalnewstoday.com/articles/247927>.
41. **Singh, Abhinav.** Healthy Sleep Tips. *Sleep foundation*. [Online] 30. 7 2020. [Citace: 22. 10 2020.] <https://www.sleepfoundation.org/sleep-hygiene/healthy-sleep-tips>.
42. **Šindelář, Václav, Smrž, Ladislav a Beťák, Zdeňěk.** *Nová soustava jednotek 3. vydání.* Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1981. 14-539-81.
43. **Pochmonová, Mgr. Jaroslava Ph.D.,** Fyzikální terapie IV - přednáška. *Informační systém Masarykovy univerzity*. [Online] 12. 4 2013. [Citace: 28. 9 2020.] <https://is.muni.cz/el/med/jaro2013/BFFT0644p/um/>.
44. **Andor.** What is Light - An overview of the properties of Light. *Oxford instruments andor*. [Online] 15. 2 2021. [Citace: 16. 2 2021.] <https://andor.oxinst.com/learning/view/article/what-is-light>.
45. **Bahcall, John N.** How the sun shines. *The Nobel prize*. [Online] The Nobel prize , 29. 7 2000. [Citace: 25. 10 2020.] <https://www.nobelprize.org/prizes/themes/how-the-sun-shines-2/>.
46. **Tomanová, Romana.** Spektra - Heuréka únor 2010 Praha. *Slideplayer*. [Online] Slideplayer , 2010. [Citace: 29. 10 2020.] <https://slideplayer.cz/slide/2977561/>.
47. **Kymplová, Jaroslava.** Katalog metod v biofyzice. *Portal 1. Lékařská fakulta Univerzity Kalovy*. [Online] 21. 1 2013. [Citace: 28. 11 2020.] <https://portal.lf1.cuni.cz/clanek-793-katalog-metod-v-biofyzice>.
48. **Tyndall, John.** IV. On the blue colour of the sky, the polarization of skylight, and on the polarization of light by cloudy matter generally. *The Royal society publishing*. [Online] The Royal society publishing, 1869. [Citace: 26. 11 2020.] <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspl.1868.0033>.

49. **Pesonen, Anu-Katriina, Tähkämö, Leena a Partonen, Timo.** Systematic review of light exposure impact on human circadian rhythm. *Research gate*. [Online] 10 2018. [Citace: 20. 1 2021.]

https://www.researchgate.net/publication/328257615_Systematic_review_of_light_exposure_impact_on_human_circadian_rhythm#:~:text=Findings%20from%20a%20number%20of,potentially%20causing%20further%20health%20impacts.&text=The%20circadian%20rhythm%20was%20sea.