

PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLMOUCI
KATEDRA OPTIKY

LUTEÍN – FILTER MODRÉHO SVETLA

Bakalárska práca

VYPRACOVAL:

Karin Žácka

Obor B5345 Optometrie

Školský rok : 2017/2018

VEDÚCI BAKALÁRSKEJ PRÁCE:

RNDr. Pluháček František, Ph.D.

Čestné prehlásenie:

Prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracovala samostatne pod vedením RNDr. Františka Pluháčka, Ph.D. a za použitia literatúry uvedenej v závere práce.

Tato práca bola vytvorená za podpory projektu IGA PŘF UP v Olomouci s názvom “Optometrie a její aplikace“, č. IGA_PrF_2017_003

V Olomouci, dňa 30.10.2017

.....

Karin Žáčka

Pod'akovanie:

Touto cestou by som chcela venovať svoju vďaku RNDr. Františkovi Pluháčkovi Ph.D. za jeho cenné rady a všetok čas, ktorý mne a tejto bakalárskej práci venoval.

Obsah

Úvod	5
1. Luteín v ľudskom oku	6
1.1. Chemická stavba luteínu	6
1.2. Distribúcia luteínu v oku	8
1.3. Hustota makulárneho pigmentu	10
2. Modré svetlo a jeho účinky na zrak	13
2.1. Modré svetlo	13
2.2. Pozitívne a negatívne účinky modrého svetla	15
2.2.1. Pozitívne účinky modro-tyrkysového žiarenia	15
2.2.2. Negatívne účinky modro-fialového žiarenia	16
3. Mechanizmus pôsobenia luteínu	20
3.1. Antioxidant	20
3.2. Filtrácia modrého svetla	22
3.3. Vplyv na kvalitu zraku	25
4. Luteín ako prirodzená zložka potravy	26
4.1. Jedlo s obsahom luteínu	26
4.2. Luteínové doplnky	27
5. Vplyv cielenej konzumácie luteínu	28
Záver	34
Zoznam použitej literatúry	36
Zoznam použitých obrázkov	42
Zoznam použitých tabuliek	42
Zoznam použitých grafov	42

Úvod

Modré svetlo, ako súčasť viditeľného spektra, nás obklopuje takmer počas celého dňa, pričom s nástupom technológií sa jeho vplyv čoraz viac znásobuje. Je nepochybné, že modré žiarenie má na človeka aj pozitívne účinky, ako je napríklad riadenie cirkadiálneho rytmu. Avšak existuje aj jeho opačná, škodlivá stránka. Na sietnici spôsobuje poškodenie v zmysle zvyšujúcej sa tvorby kyslíkatých radikálov, čo predstavuje ideálne prostredie pre rozvinutie ďalších očných ochorení. Avšak náš zrak, vďaka dlhým rokom evolúcie, bol schopný vyvinúť si vlastné ochranné mechanizmy voči okolitému žiareniu, ktoré môžeme rozdeliť na štyri aspekty.

Ak sa zameriame na sietnicové receptory v súvislosti s ich citlivosťou na jednotlivé farby, zistíme, že sietnica obsahuje, okrem receptorov citlivých na červené a zelené farby, aj receptory vnímajúce modré svetlo. Množstvo receptorov vnímajúcich modré žiarenie je však obmedzené. V porovnaní s receptormi vnímajúcimi zelenú (32 %) a červenú (65 %), predstavujú iba 1-2 % zo všetkých receptorov.

Druhým aspektom je priestorové usporiadanie receptorov. Vo fovei sú totiž prítomné len receptory citlivé na červenú a zelenú farbu, čo znamená, že v mieste najostrejšieho videnia sa nenachádzajú receptory citlivé na modrú farbu. [1]

Tretím prospešným faktorom je vek. So stúpajúcim vekom dochádza ku farebným a štrukturálnym zmenám šošovky, vplyvom čoho nadobúda žltá-hnedé zafarbenie. Toto zafarbenie tiež vytvára akúsi ochrannú, filtračnú bariéru, ktorá zamedzuje priechod modrého svetla až ku sietnici.

Štvrtým a posledným aspektom je makulárny pigment. Makulárny pigment tvorí v makule žltú vrstvu, obsahujúcu karotenoid luteín, ktorý z najväčšej miery zabezpečuje filtráciu krátkych vlnových dĺžok modrého svetla. Práve tejto problematike je venované ťažisko bakalárskej práce.

V práci je v krátkosti popísané, čo je to modré žiarenie, a aké sú jeho pozitívne a nepriaznivé účinky. Cieľom práce je, na základe rešerše literatúry zistiť, či luteín, ako jeden z dvoch karotenoidov, ktoré tvoria makulárny pigment, je schopný nie len pôsobiť ako antioxidant, ale aj odfiltrovať modré žiarenie, ktoré pri nadmernom osvite podporuje tvorbu voľných kyslíkatých radikálov, čo podnecuje vznik rôznych očných ochorení, ako napríklad vekom podmienená makulárna degenerácia či katarakta.

1. Luteín v ľudskom zraku

V porovnaní s inými tkanivami sa luteín v najväčších koncentráciách vyskytuje na sietnici. Schopnosť luteínu efektívne bojovať s tvorbou voľných radikálov počas fotooxidatívneho stresu je primárne zabezpečená vďaka jeho chemickej štruktúre.

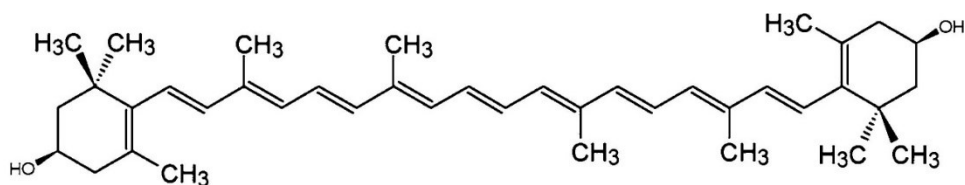
1.2. Chemická stavba luteínu

Luteín po chemickej stránke patrí medzi karotenoidy. Karotenoidy sa delia na dve základné podskupiny:

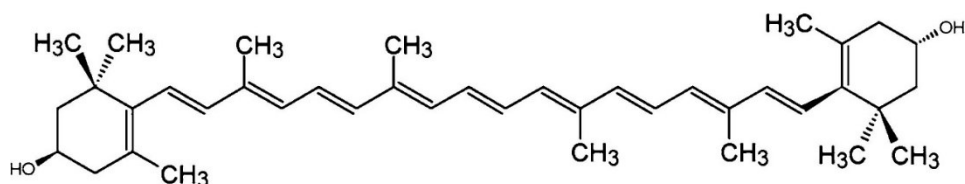
1. Karotény
 - a. Betakarotén
 - b. Alfakarotén
 - c. Licopén
2. Xantofily – kyslíkaté deriváty karoténov
 - a. Luteín
 - b. Zeaxantín

Základná štruktúra karotenoidov má lineárny, symetrický tvar, ktorý je v centre obrátený. Štruktúra karotenoidov zabezpečuje ich lipofilné vlastnosti, tzn. sú rozpustné v tukoch a primárne transportované HDL cholesterolom. Charakteristickou črtou karotenoidov je konjungovaný systém dvojitých väzieb. Tento konjungovaný systém má viacero účelov, ako napríklad: spôsobuje farebnosť samotného pigmentu (žltá, žlto-zelená, oranžová, červená), umožňuje molekule premiestniť svoj pí-elektrón a zabrániť tak tvorbe radikálov, zabezpečuje absorpciu energie vo viditeľnom spektre a takisto je zodpovedný za ich charakteristickú citlivosť na svetlo, teplo a oxidáciu v aerobickom prostredí.

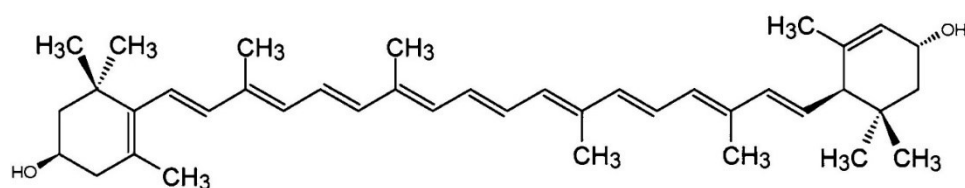
[2 - 4]



Zeaxantín



Meso-zeaxantín



Luteín

Obrázok č. 1 – Chemická štruktúra karotenoidov – zeaxantín, meso-zeaxantín, luteín. [2]

Luteín v ľudskom tele predstavuje druhý najrozšírejší karotenoid. Ide o xantofilový pigment, ktorého prekursorom je α -karotén [5]. Ako môžeme vidieť na obrázku č. 1, luteín, spolu so zeaxantínom a nedávno objaveným derivátom meso-zeaxantínom, obsahujú veľmi špecifické hydroxylové prstence, vďaka ktorým ich môžeme veľmi jednoducho odlíšiť od ostatných karoténov [6]. Odlišné orientácie hydroxylových skupín luteínu, zeaxantínu a mezo-zeaxantínu sú zodpovedné za ich rozdielne priestorové rozloženie v makule – viď podkapitola 1.3. Hydroxylové skupiny taktiež umožňujú prechod luteínu a zeaxantínu hemato-okulárnou a hemato-encefalickou bariérou. [2, 7]

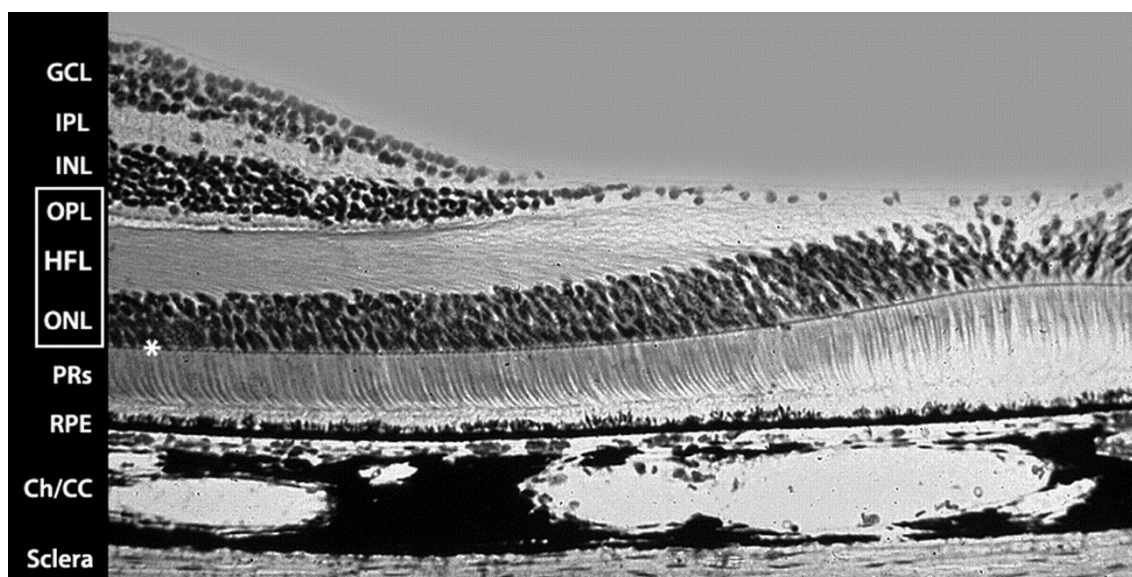
1.2. Distribúcia luteínu v oku

Jedinečnou vlastnosťou, ktorá odlišuje luteín (L), zeaxantín (Z) a meso-zeaxantín (MZ) od ostatných karotenoidov, je ich prítomnosť v špecifických očných tkanivách. V prírode sa nachádza asi 600 druhov karotenoidov, v ľudskej plazme môžeme nájsť 20 druhov, a v očnom tkanive sa nachádzajú výhradne iba tieto tri karotenoidy. [2, 6, 8]

Šošovka a makula sú dve hlavné zložky zrakového aparátu, ktoré sú nám schopné sprostredkovať kvalitný zrakový vnem. Dnes už bez pochyby môžeme tvrdiť, že sa luteín spolu so zeaxantínom nachádzajú práve v týchto dvoch častiach oka. V porovnaní s ostatnými časťami tela, ľudská makula obsahuje najvyššiu koncentráciu karotenoidov (L, Z, MZ), o množstve 0,1-1 milimólov. V šošovke sa v porovnaní s makulou nachádza iba 1/200 koncentrácie. [2]

Vďaka vysokej koncentrácii luteínu v makule, nadobudla táto oblasť latinský názov *Macula lutea* alebo žltá škvrna. Ide v priemere o 5 až 6 mm veľkú kruhovú plochu nachádzajúcu sa v zadnej časti sietnice, ktorá obsahuje charakteristický žltý pigment – makulárny pigment, kompletne zložený z luteínu a zeaxantínu. [6, 8]

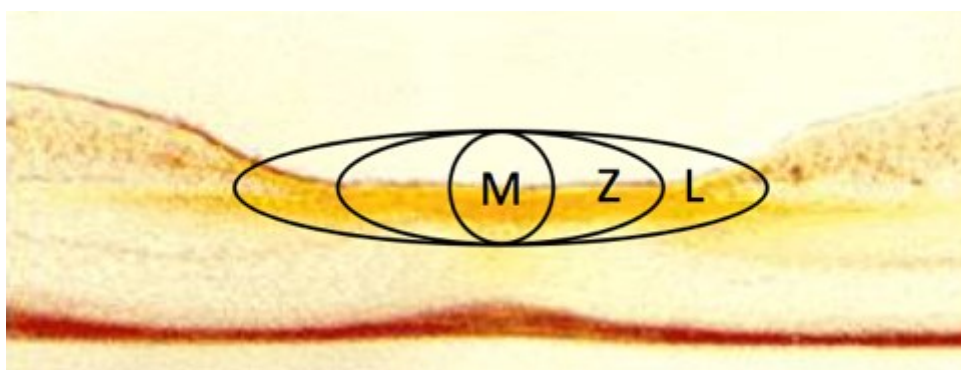
Presné miesto uloženia makulárnych pigmentov (L, Z, MZ) sa nachádza v takzvanej Henleho vrstve. Vieme, že v periférii sietnice prevládajú telá tyčinkovitých buniek, zatiaľ čo v centre sietnice nájdeme prevažne telá buniek čapíkov. Henleho vrstva sa nachádza výhradne iba v oblasti makuly medzi vonkajšou bunkovou vrstvou a vonkajšou plexiformnou vrstvou (viď obrázok č. 2). Je zložená z množstva nemyelizovaných vlákien axónov opúšťajúcich telá čapíkov, ktoré končia synapsiami vo vonkajšej plexiformnej vrstve. Tieto vlákna sú navzájom poprepájané s Müllerovými bunkami, čo má za výsledok bledo-zafarbenú vláknitú vrstvu. Vlákna majú dlhú cylindrickú štruktúru, a ich priemerná dĺžka od centra makuly je cca 558 μm pri synapsii s bipolárnymi bunkami a 350 μm pri synapsii s horizontálnymi bunkami. Druhým miestom na sietnici, kde môžeme nájsť v menších koncentráciách luteín, sú vo vonkajšie segmenty tyčíniek a čapíkov. [40]



Obrázok č. 2 - Histologický rez fovei zobrazujúci umiestnenie Henleho vrstvy. (GCL – vrstva gangliových buniek, IPL – vnútorná plexiformná vrstva, INL – vnútorná bunková vrstva, OPL – vonkajšia plexiformná vrstva, HFL – Henleho vrstva vláken, ONL – vonkajšia bunková vrstva, PRs – vrstva fotoreceptorov, RPE – pigmentový epitel sietnice, Ch/CC – cievnatka, Sclera – skléra) [39]

1.3. Hustota makulárneho pigmentu

Makulárny pigment je súborný termín užívaný k popisu žltého pigmentu, primárne zloženého z troch izomerických karotenoidov – meso-zeaxantínu, luteínu a zeaxantínu. Vrchol koncentrácie makulárneho pigmentu sa nachádza vo foveole. Koncentrácia samotného luteínu prevláda v periférii makuly, zeaxantín sa začína objavovať v polovici periférnej časti a meso-zeaxantín sa koncentruje v epicentre makuly. V centre makuly, vo foveole, je pomer luteínu ku zeaxantínu asi 1:2,4. Prechádzajúc smerom ku periférii sa tieto pomery podstate menia. Zatiaľ čo hladina zeaxantínu klesá, hladiny luteínu stúpajú, až sa stabilizujú na úrovni, kde pomer luteínu ku zeaxantínu je práve naopak 2:1. [7]



Obrázok č. 3 – Distribúcia makulárneho pigmentu. (M – meso-zeaxantín, Z – zeaxantín, L – luteín) [38]

Makulárny pigment zohráva v ľudskom zraku dôležitú úlohu. Pri jeho dostatočných hodnotách filtráciou modrého svetla znižuje výskyt chromatických aberácií, čo zlepšuje hodnoty zrakového vízu a kontrastnej citlivosti. Luteín spolu so zeaxantínom takisto znižujú nepohodlie spojené s oslnením, pričom zároveň zlepšuje, resp. kráti čas potrebný na regeneráciu funkcie sietnice po oslnení. Priaznivé hodnoty hustoty makulárneho pigmentu takisto pozitívne vplyvajú na samotnú funkciu makuly a rýchlosť neurologických procesov potrebných k videniu. Všetky tieto výhody, za ktoré je makulárny pigment zodpovedný, prispievajú k faktu, že makula je centrom najostrejšieho videnia.

U fyziologicky zdravého pacienta sa hladina makulárneho pigmentu behom dňa nemení. Jedinci so svetlými dúhovkami majú bežne nižšie hladiny makulárneho pigmentu než pacienti s dúhovkami tmavými. V porovnaní s čiernymi a hnedými dúhovkami, svetlé dúhovky umožňujú väčší priesvit svetla, čo spôsobuje, že makulárny pigment je vystavený väčšiemu foto-stresu. Hustota makulárneho pigmentu jasne odzrkadľuje

množstvo luteínu nachádzajúceho sa v makule a jeho meranie zahŕňa veľmi efektívne neinvazívne techniky. [8]

Existuje množstvo techník, vďaka ktorým môžeme merať hustotu makulárneho pigmentu. Tieto techniky môžu byť buď nepriame alebo priame neinvazívne in vivo. Vo všeobecnosti ich môžeme rozdeliť na subjektívne (heterochromatická Flicker fotometria) a objektívne (autofluorescenčná spektrometria, reflektometria, Ramanova spektrometria). Momentálne sa na klinické účely a rôzne štúdiá najviac využívajú heterochromatická flicker fotometria a reflektometria.

Heterochromatická Flicker Fotometria

Heterochromatická flicker fotometria (HFF) je najčastejšie užívaná psychofyzikálna metóda na meranie hustoty makulárneho pigmentu. Je založená na svetelnom porovnaní dvoch zdrojov rôznych farieb. Táto metóda merania je uskutočnená pomocou malého kruhového stimulu o priemere 1-2°, ktorý alternuje medzi testovanou vlnovou dĺžkou, ktorá je absorbovaná makulárnym pigmentom (obvykle modré 460 nm dlhé žiarenie) a referenčnou vlnovou dĺžkou, ktorá absorbovaná nie je a jej optická hustota sa rovná nule (obvykle zelené 540 nm dlhé žiarenie). Intenzita modrého svetla je kontrolovaná subjektom. U HFF je kritickou hodnotou frekvencia zmeny stimulov. Pri nízkych frekvenciách sú jednotlivé farby jednoducho rozlíšiteľné. Zvyšovaním frekvencie dochádza ku fúzii farieb, ktorú pacient pozoruje ako blikajúci tyrkysový stimul. Pri vysokých, kritických frekvenciách môžeme dojem blikania eliminovať alebo aspoň minimalizovať upravením intenzity modrého svetla na určitú hodnotu. Predpokladá sa, že dojem blikania je minimalizovaný (alebo zrušený) práve vtedy, keď je svetelnosť modrého a zeleného svetla na úrovni fotoreceptorov rovnaká. Čo znamená, že subjekt s väčšou hustotou makulárneho pigmentu bude požadovať vyššiu hodnotu intenzity modrého svetla, aby došlo ku kompenzácii zoslabenia modrého svetla spôsobenú absorpciou makulárnym pigmentom. Aj napriek faktu, že HFF je invazívna iba minimálne (umožňuje nám využitie nízkych svetelných dĺžok a nevyžaduje dilatáciu zorníc), pacienti musia prejsť zložitým tréningom aby sme dosiahli relevantné výsledky merania. [2, 8]

Reflektometria

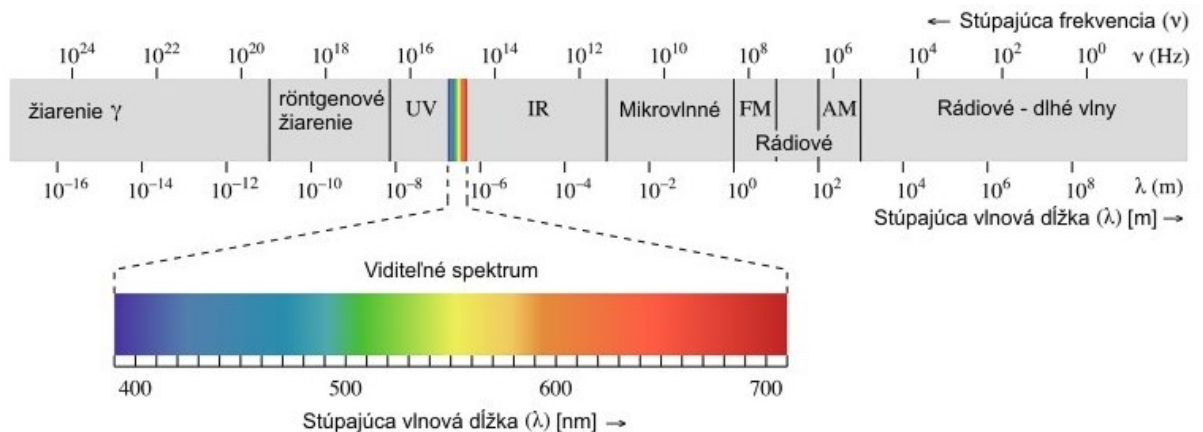
Reflektometria fundu oka je jednou s najnovších metód merania hustoty makulárneho pigmentu. Meranie je založené na zistení, že spektrum svetla, ktoré je reflektované z centrálnej a periférnej časti sietnice, je rozdielne. Je dokázané, že pigmentový epitel spolu s cievnatkou odrážajú svetlo, ktoré prichádza okom na sietnicu, takže svetlo v takomto prípade prenikne makulárnym pigmentom až dva krát. Pre získanie digitálnych obrázkov sa používa sietnicová kamera, pričom je sietnica osvietená modrým a referenčným zeleným svetlom. Mapu makulárneho pigmentu získame prekrytím oboch obrazov, vďaka rozdielu medzi logaritmi hodnôt jasů v korešpondujúcich pixeloch oboch obrazov. Avšak, keďže je svetlo absorbované aj inými časťami oka, toto meranie nemôže byť považované za chemicky presné. Okrem iného, reflektometria fundu vyžaduje dilatáciu zorníc, drahé vybavenie a technických expertov. Aj z týchto dôvodov môžeme nájsť množstvo modifikácií tejto metódy – napr. s užitím scanning laser oftalmoskopiou alebo metódu, kde je referenčné svetlo eliminované. [2, 8]

2. Modré svetlo a jeho účinky na zrak

S nástupom televízií, počítačov, tabletov a mobilov sa súčasne zvyšujú hladiny umelého svetla, ktoré vyžaruje do nášho okolia. Modré žiarenie, ktoré prechádza cez náš zrakový systém môže spôsobovať rôzne problémy. Zatiaľ čo niektorým ľuďom spôsobuje iritáciu očí alebo im vyvoláva bolesti hlavy, väčšina ľudí je schopná ho ignorovať. Aktuálnym cieľom vedeckých výskumov je sondáž dlhodobých účinkov modrého žiarenia a schopnosť sprostredkovať možné riešenia potrebné na zabezpečenie zdravého zrakového aparátu v prítomnosti žiarenia modrého svetla.

2.1. Modré svetlo

Modré svetlo je súčasťou viditeľného spektra, ktoré patrí do veľkého celku nazývaného elektromagnetické spektrum.



Obrázok č. 4 – Elektromagnetické spektrum. [9]

Ako môžeme vidieť na obrázku č. 3, časť viditeľného spektra rozdeľuje elektromagnetické spektrum na dve časti. Smerom naľavo sa vlnová dĺžka svetla postupne skracuje a žiarenie je čoraz viac energetickejšie a nebezpečnejšie. Toto riziko predstavuje ultrafialové žiarenie (UV), röntgenové žiarenie a žiarenie Gama. Druhá časť je na pravej strane od viditeľného spektra. V tomto prípade ide o neškodné žiarenie, s čoraz väčšími vlnovými dĺžkami. Ide o infračervené žiarenie, mikrovlnné a rádiové vlny.

Viditeľné svetlo je časť elektromagnetického spektra s vlnovou dĺžkou vo vákuu od 380 nm do 780 nm. Rozsah vnímaných vlnových dĺžok je daný predovšetkým tým, že v oblasti viditeľného svetla pochádza maximum elektromagnetického žiarenia zo Slnka, dopadajúceho na zemský povrch, čo znamená, že v tomto rozsahu je najlepšie vidieť. [9]

Predtým ako svetlo dopadne na sietnicu, musí prejsť časťami predného segmentu oka, ktoré svetlo buď absorbujú alebo prepustia. Medzi tieto očné média patrí rohovka, komorová tekutina, šošovka a sklovec.

Skoro všetky UV lúče dopadajúce do oka sú absorbované rohovkou a následne šošovkou, pričom u dospelého oka dopadne až na sietnicu iba 1 - 2 % celkového UV žiarenia. Rohovka a šošovka sú taktiež schopné blokovat' infračervené svetlo nad 980 nm, a sklovec absorbuje infračervené žiarenie nad 1400 nm, ktoré už šošovka nie je schopná absorbovať [10]. Výsledné žiarenie dopadajúce na sietnicu sa teda minimalizuje výlučne na viditeľné spektrum.

Približne 25 % viditeľného svetla, ktoré nás prirodzene obklopuje, predstavuje modré svetlo. Ide o prirodzenú a dôležitú zložku svetla, ktorej vlnová dĺžka je od 380 nm do 480 nm. V rámci viditeľného spektra ide o najkratšie vlnové dĺžky, ktoré majú relatívne vysokú energiu. Nárazové vystavenie sa tejto energii môže spôsobiť tepelné poškodenia (fotoqueratitis), pričom opačné, postupné vystavovanie sa modrému svetlu môže zapríčiniť usadzovanie fotochemických usadenín, ktoré sú príčinou bunkovej smrti.

Na základe faktu - čím kratšia je vlnová dĺžka žiarenia, tým je energia fotónov väčšia, rozdelíme modré svetlo na dva typy:

1. Modro-tyrkysové žiarenie – dlhšie vlnové dĺžky
2. Modro-fialové žiarenie – kratšie vlnové dĺžky

2.2. Pozitívne a negatívne účinky modrého svetla

Modré svetlo ako najrizikovejšia časť viditeľného spektra je centrom rôznych štúdií. Energetické vlastnosti tohto žiarenia sú skúmané hlavne kvôli jeho škodlivým účinkom, avšak mnohé výskumy potvrdzujú aj pozitívne, v ľudskom organizme nevyhnutné, vlastnosti. Pozitívne a negatívne vlastnosti sa vzťahujú ku vlnovej povahe modrého svetla - dlhšie vlnové dĺžky modro-tyrkysového žiarenia a krátke vlnové dĺžky modro-fialového žiarenia.

2.2.1. Pozitívne účinky modro-tyrkysového žiarenia

Modro-tyrkysové žiarenie je zachytávané len nedávno objaveným tretím typom fotosenzitívnych buniek. Ide o vnútorne fotosenzitívne gangliové bunky, ktoré obsahujú melanopsín, a na rozdiel od tyčínok a čapíkov sa však nenapájajú na foveu sietnice. Tvoria rozsiahlu fotosenzitívnu sieť, ktorá sa nachádza vo vnútornej sietnici. Na rozdiel od tyčínok a čapíkov prispievajú gangliové bunky s obsahom melanopsínu k tvorbe zrakového vnemu pravdepodobne len okrajovo. Ich funkcia spočíva v detekcii okolitého osvetlenia a podieľajú sa na riadení cirkadiálneho rytmu. Chromatická pupilografia dokázala, že červené svetlo aktivuje hlavne čapíky, modré svetlo o nízkom jase tyčinky a modré svetlo o vysokom jase aktivuje hlavne gangliové bunky obsahujúce melanopsín. Aktuálne poznatky dokazujú, že dochádza k priamej, vnútornej aktivácii gangliových buniek s obsahom melanopsínu práve pri stimulácii modrého svetla (cca 482 nm), o veľkom jase (100 cd/m^2) a dlhšom trvaní (13 s). [10, 11]

- **Riadenie cirkadiálneho rytmu**

Vnútorne fotosenzitívne gangliové bunky s obsahom melanopsínu vysielajú informácie z okolia centrá pre riadenie cirkadiálneho rytmu v prednom hypotalame a spánku. Tieto centrá sú zodpovedné za riadenie vnútorných hodín, ktoré musia zostať v synchronizácii s 24 hodinovým cyklom svetla a tmy v okolitom prostredí.

- **Pupilárny reflex**

Posledné zdroje dokázali, že tento reflex, ktorý chráni zrakový systém proti nadmerne intenzívnemu žiareniu, je citlivý práve na vlnové dĺžky o hodnote max. 480 nm (spektrum modrého svetla). Je to vďaka axónom vnútorných gangliových buniek, ktoré tvoria aferentnú časť pupilárneho reflexu. [10]

2.2.2. Negatívne účinky modro-fialového žiarenia

Veľká časť modro-fialového svetla je schopná prejsť rohovkou a šošovkou, a dostať sa až ku najdôležitejším častiam sietnice. Avšak pred dosiahnutím najhlbších vrstiev musí prejsť cez makulárny pigment, ktorý predstavuje akúsi ochrannú bariéru. V prípade, že hodnoty hustoty makulárneho pigmentu sú nízke, dochádza ku škodlivým foto-toxickým účinkom na sietnici pôsobiac napríklad vekom podmienenú makulárnu degeneráciu. Zvyšná časť vlnových dĺžok modrého svetla je absorbovaná šošovkou, čo však takisto zvyšuje riziko vzniku šedého zákalu.

- **Vekom podmienená makulárna degenerácia**

Vekom podmienená makulárna degenerácia (VPMD) je závažné ochorenie vedúce k praktickej slepote v ekonomicky vyspelých krajinách u ľudí nad 60 rokov. Makulárnu degeneráciu rozdeľujeme do dvoch základných štádií: suchá forma VPMD a vlhká forma VPMD. Ide o ochorenie, ktoré je bilaterálne a asymetrické (jedno oko môže trpieť vlhkou formou a druhé suchou). Pacientov častejšie postihuje suchá forma, ktorá progreduje pomalšie, obvykle až niekoľko rokov. Vlhká forma makulárnej degenerácie naopak postupuje veľmi rýchlo, behom niekoľkých týždňov až mesiacov, a preto predstavuje závažnejší problém.

Suchá forma makulárnej degenerácie sa v začiatočných štádiách prejavuje akumuláciou takzvaných drúz na úrovni pigmentového epitelu a Bruchovej membrány. Pigmentový epitel má za úlohu odvádzať odpadový materiál. K depigmentácii a celkovému poškodeniu pigmentového epitelu dochádza hlavne v dôsledku foto-oxidatívneho stresu, ktorý je spôsobený modrým svetlom. V takomto prípade dochádza ku akumulácii zvyškového žltavého pigmentu lipofuscínu – drúz. Keďže má suchá forma veľmi pomalý priebeh, behom ďalších rokov sa drúzy začínajú zväčšovať a zhlukovať. Takáto degenerácia umožňuje následné unikanie tekutiny za foveu a jej prechod do vlhkej formy makulárnej degenerácie. Terminálne štádium suchej formy VPMD je charakterizované formáciou atrofických ložísk s následným presvitaním choroidálnych ciev – ide o tzv. geografickú atrofiu. Na počiatku ide o asymptomatické ochorenie, pri ktorom však s postupným zaníkaním kapilár v choriokapiláris a zaníkaním čapíkov dochádza ku strate centrálného videnia. Pacient trpí rozmazaným videním, zhoršenou schopnosťou čítať alebo zaostríť na tváre či detaily. [6]

Približne 10-15 % pacientov postihuje vlhká forma VPMD. V dôsledku nedostatočného prísunu kyslíku dochádza k takzvanej choroidálnej neovaskularizácii, v rámci ktorej prerastajú cievy z cievnatky do a pod makulu. Keďže novotvorené cievy sú veľmi krehké, často dochádza k ich ruptúre, pretekaniu či krvácaniu. Vo výsledku na klinickom obraze pacienta môžeme nájsť subretinálnu exsudáciu či krvácanie. V terminálnom štádiu sa na sietnici utvorí disciformná jazva. U pacienta behom krátkej doby dôjde ku významnému poklesu zrakovej ostrosti a ku tvorbe metamorfopsií – vlnité, sprehybané videnie. [6, 12]

Centrálne neovaskularizácie, ku ktorým dochádza u vlhkej formy VPMD je nutné liečiť tak, aby došlo k uzatvoreniu novo-vytvorených abnormálnych ciev bez porušenia fotoreceptorov sietnice. Fotodynamická terapia a liečba pomocou takzvaného anti-VEGF patria medzi metódy, ktoré tieto podmienky spĺňujú. Fotodynamická terapia spočíva v intravenóznom podaní farbiva porfyrínu, ktorý sa vychytá v novo-vytvorených cievach. K uzavretiu cievy dôjde v dôsledku zrážaniu krvi pri pôsobení laseru na vybrané zafarbené cievy. Naopak, liečba anti-VEGF je prvá liečba, ktorá priamo zabráni vytvoreniu nových ciev. Pacientovi je podaná intraokulárna injekcia protilátky proti rastovému faktoru, ktorý stimuluje novo-tvorenie ciev a presakovanie tekutiny. [13]

Na suchú formu VPMD zatiaľ neexistuje efektívna liečba. V takomto prípade sú významné preventívne opatrenia v podobe užívania vitamínov a antioxidantov – hlavne luteínu a zeaxantínu.

Medzi najrizikovejšie faktory vypuknutia VPMD patrí vysoký vek a rasa. Broekmans a spol. [43] zistili, že ženy majú v krvi a tukoch vyššie koncentrácie karotenoidov než muži, a zároveň významne nižšie hodnoty v makulárnom pigmente. Toto zistenie môže potvrdiť fakt, že ženy vykazujú vyššie riziko prepuknutia VPMD než muži. Ďalším rizikovým faktorom sú nikotín a svetelné žiarenie (hlavne krátke modré vlnové dĺžky [44]), spôsobujúce oxidatívny stres sietnice. Takisto sem môžeme zaradiť zdravú životosprávu a správne stravovanie, ktoré by naopak malo byť bohaté na antioxidanty schopné bojovať proti voľným radikálom vznikajúcim pri oxidatívnom poškodení.

Rozhodujúcu úlohu pri foto-oxidatívnom strese sietnice zohráva už spomínaný pigment lipofuscín. Lipofuscín sa v ranných štádiách VPMD akumuluje v pigmentovom epiteli sietnice, kde pod vplyvom iritácie krátkymi vlnovými dĺžkami modrého svetla, vyvoláva tvorbu voľných kyslíkatých radikálov. V súvislosti s týmto bolo dokázané, že pod vplyvom modrého žiarenia lipofuscín v bunkách pigmentového epitelu sietnice stimuluje

bunkovú apoptózu. Je teda jasné, že pokiaľ modré svetlo dosiahne až ku fotoreceptorom a pigmentovému epitelu, dochádza ku vzniku vekom podmienenej makulárnej degenerácie [2]. Toto zistenie je základom prevencie vzniku VPMD. Vrstva makulárneho pigmentu, tvorená luteínom a zeaxantínom, je uložená ešte pred bunkovou vrstvou fotoreceptorov a pigmentovým epitelom. Z čoho vyplýva, že pri dostatočnej hustote je makulárny pigment, vďaka svojej výhodnej polohe, schopný odfiltrovať modré svetlo ešte pred dosiahnutím spodných sietnicových vrstiev. V konečnom dôsledku pribúda množstvo štúdií s rastúcim názorom, že luteín má významnú preventívnu funkciu pri redukcii rizika vzniku vekom podmienenej makulárnej degenerácie - vid' kapitola č. 5.

- **Katarakta**

Katarakta, alebo inak povedané šedý zákal, je ochorenie, ktorým trpí až 39 % populácie, a tvorí tak hlavnú príčinu slepoty vo svete. Ochorenie sa prejavuje zakalením šošovky, ktorá je tvorená prevažne z vody a bielkovín, usporiadaných tak, aby udržali šošovku čistú a transparentnú. Chemickými zmenami bielkovín tak dochádza ku zníženiu transparentnosti a zakaleniu šošovky. [14]

Príčiny vzniku katarakty môžu byť rôzne. Najčastejšou príčinou vzniku primárnej katarakty je vek – ide o tzv. senilnú kataraktu. V tomto prípade dochádza ku zakaleniu šošovky v dôsledku vekom podmienených zmien šošovky, ako je zväčšovanie šošovky, strata jej elasticity a akomodácie, zmeny indexu lomu a následne zníženie transparentnosti.

Sekundárna katarakta je najčastejšia pooperačná komplikácia šedého zákalu, vplyvom ktorej došlo k druhotnému zákalu zadného puzdra šošovky. Treťou skupinou sú takzvané komplikované katarakty. Ide o šedý zákal, ktorý vznikol ako komplikácia iných očných či systémových ochorení, v dôsledku pôsobenia liekov pri ich liečbe alebo vplyvom žiarenia.

Vplyv žiarenia modrého svetla spôsobuje, že dochádza ku oxidácii bielkovín šošovky, ktoré sa následne začnú zrážať a zakalia šošovku. Katarakta má spočiatku na zrak len malý vplyv, avšak s časom sa prejavuje zahmleným videním, čo spôsobuje zníženie zrakového vízu pacienta. Okrem iného, u pacienta môže dôjsť k poruchám farbcitu, dvojitému videniu či senzácii oslnenia. [6, 8]

Terapia liekmi neexistuje a odstránenie katarakty prebieha výhradne operačne. Proces spočíva v extrakcii zakaleného jadra a kortexu pomocou fakoemulzifikácie. Puzdro pôvodnej šošovky zostáva ponechané, aby do neho mohla byť následne implantovaná umelá intraokulárna šošovka.

Mladí ľudia pod 20 rokov, a špeciálne malé deti, nemajú alebo majú len veľmi málo žltu sfarbenú šošovku. V tomto prípade akékoľvek modré žiarenie, ktoré vstupuje do oka, nie je vôbec odfiltrované, a plnou silou zasahuje nielen sietnicu, ale aj šošovku. Po 20 roku života sa šošovka začne zafarbovať na žltu, a tak sa stane prirodzenou, aj keď nie perfektnou, absorpčnou bariérou pre vlnové dĺžky od 400 do 320 nm. Toto sietnici zabezpečuje aspoň čiastočnú ochranu voči modrému žiareniu. [15]

Zistenie, že ľudská šošovka obsahuje výhradne dva karotenoidy, luteín a zeaxantín, a že sa tieto pigmenty nachádzajú v metabolicky aktívnych vrstvách epitelu a kortexu šošovky, podnietilo aj záujem výskumov. Je možné, že tieto zložky môžu mať ochrannú funkciu pri rozvoji katarakty. Fakt, že katarakta je ochorenie, ktoré možno riešiť jedine chirurgicky, podstatne zvyšuje význam výskumov zameraných na preventívne užívanie antioxidantívne pôsobiacich karotenoidov – viď kapitola č. 5. [8]

3. Mechanizmus pôsobenia luteínu

Vlastnosti luteínu a makulárneho pigmentu ako takého, zahŕňajú filtráciu škodlivého krátko-vlnového žiarenia, a jeho schopnosť viazať voľné radikály ešte pred jeho dosiahnutím na úroveň fotoreceptorov a pigmentového epitelu. Plus, vďaka jeho optickým a anatomickým vlastnostiam je dôležité zobrať do úvahy fakt, že môže zohrávať dôležitú úlohu vo vplyve na kvalitu zraku.

3.1. Antioxidant

Oxidácia je nevyhnutným procesom na zabezpečenie potrebnej energie bunky. Behom tohto procesu, okolo 95-98 % spotrebovaného kyslíku je zredukovaných na vodu, avšak zvyšný podiel sa premení na nestabilné reaktívne kyslíkové formy. Spolu s dusíkovými reaktívnymi formami ich označujeme ako voľné radikály. Voľný radikál je atóm, molekula či ión, ktoré majú vo svojej vonkajšej orbite aspoň jeden nespárovaný elektrón. Aj pri nízkych koncentráciách môže dlhodobé vystavenie voľným radikálom spôsobiť DNA mutáciu, poškodenie tkaniva a spustiť ochorenie. K oxidačnému stresu dochádza v momente, keď hladina oxidačných foriem v organizme prekročí počet antioxidantov. [2, 16]

Termín „antioxidant“ často aplikujeme na rôznych biomolekulách (napríklad vitamíny, minerálne látky alebo bielkovinové enzýmy), a preto je veľmi náročné uviesť jednu jednotnú definíciu. Antioxidant je látka, ktorá významne znižuje škodlivé účinky voľných radikálov, ako sú napríklad reaktívne formy kyslíka a reaktívne formy dusíka, pri fyziologicky normálnej funkcii človeka [8]. V biologickom organizme môžeme nájsť hneď niekoľko oxidačných foriem, ako napríklad singletový kyslík, hydroxylový radikál, supeoxid, hydrogenperoxid a peroxylový radikál. K reakcii medzi týmito oxidačnými formami a karotenoidmi môže dôjsť dvomi cestami: presun elektrónu alebo pridaním radikálu.

V prvom prípade, aby sme predišli oxidačnému stresu, antioxidant daruje svoj voľný elektrón kyslíkatému radikálu, a tak ochráni zdravú bunku pred jej okradnutím a znehodnotením. Je teda možné dôjsť k záveru, že luteín a celkovo všetky karotenoidy veľmi ľahko oxidujú, a to tak, že odovzdajú elektrón z polyénového reťazca, aby vytvorili radikálový kation. Táto „preferovaná“ oxidácia karotenoidov s cieľom vytvoriť radikálový kation, predstavuje hypotézu, ktorá môže objasniť preventívnu funkciu karotenoidov voči ireverzibilnej oxidácii polynasýtených mastných kyselín, nukleových

kyselín a bielkovín [8]. Keďže oko je vaskularizované tkanivo obsahujúce vysokú koncentráciu polynásytených mastných kyselín vo vonkajších segmentoch fotoreceptorov, prídeme k záveru, že makula je obzvlášť citlivá k oxidatívnym zmenám. Samozrejme, teória už spomínanej „preferovanej“ oxidácie v makule podnecuje fakt, že luteín ako antioxidant má dôležitú ochrannú úlohu makulárnych buniek. [6]

Druhou dôležitou cestou je adícia radikálov, keď sa radikál peroxyly pridá priamo ku karotenoidu. Výsledkom tejto reakcie je karotenoidový radikál, ktorý môže reagovať priamo s molekulou kyslíku. Táto sekundárna reakcia zapríčini vznik karotenoidového peroxiloxylového radikálu, avšak tento vznik podlieha aktuálnej hodnote parciálneho tlaku kyslíku. Pri dostatočne vysokom parciálnom tlaku, karotenoidový peroxylový radikál vytvára ďalšie prídavné radikály štiepením peroxylovej väzby. Tento kyslík-dependentný krok spôsobí, že dochádza k väčšej tvorbe radikálov v porovnaní s ich neutralizáciou, a tak dochádza ku oxidačnému stresu. Dnes je už dokázané, že pri nízkych parciálnych tlakoch majú karotenoidy vysoko antioxidantný účinok a naopak, pri zvyšujúcej sa koncentrácii kyslíka, sekundárne tvorené karotenoidové peroxylové radikály hrajú dôležitejšiu úlohu, a karotenoidy tak strácajú svoju antioxidantnú schopnosť. Avšak, je nutné poznamenať, že pri fyziologicky normálnom tlaku tento kyslík-dependentný krok zohráva len malú úlohu, a teda jeho efekt nie je tak veľký.

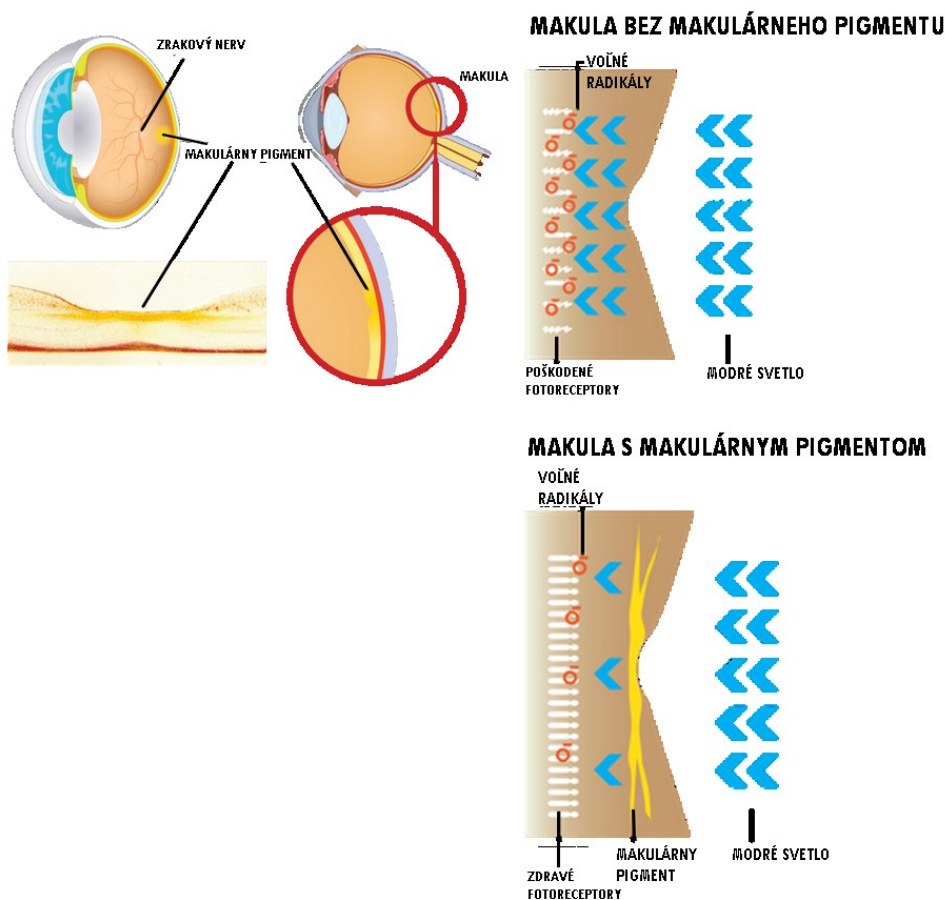
Oba prechádzajúce prípady boli dôkazy in vitro. Ak sústredíme našu pozornosť in vivo, sietnica a možná antioxidantná funkcia karotenoidov sú stále aktuálnym predmetom štúdia. Sommerburg a spol. a Rapp a spol. vďaka dôkladnej analýze vonkajších segmentov tyčínok izolovaných z perifoveálnej a periférnej oblasti sietnice dokázali, že luteín a zeaxantín sa nachádzajú práve v týchto častiach tyčinkových receptoroch. Zároveň je bohužiaľ zatiaľ nemožné izolovať vonkajšie segmenty čapíkov, v ktorých prebiehajú najväčšie morfológické zmeny, a to hlavne v prípade rozvíjajúcej sa makulárnej degenerácie. Pretože práve vonkajšie segmenty a sietnicový epitel sú miestom, kde dochádza k najväčším škodám spôsobených oxidáciou. Základnou antioxidantnou podmienkou je v tomto prípade jednoznačne prítomnosť samotného luteínu a zeaxantínu. Teória, že luteín a zeaxantín v sietnici fungujú ako antioxidanty, zahŕňa aj isté skutočnosti, ako napríklad, že sietnica je vysoko aerobické tkanivo s výnimočne vysoko aktívnym metabolizmom, a zároveň je potvrdený fakt, že vekom podmienená makulárna degenerácia je výsledkom oxidatívnej deštrukcie a radikálových

procesov prebiehajúcich vo vonkajších segmentoch a v sietnicovom pigmentovom epiteli. [8]

3.2. Filtrácia modrého svetla

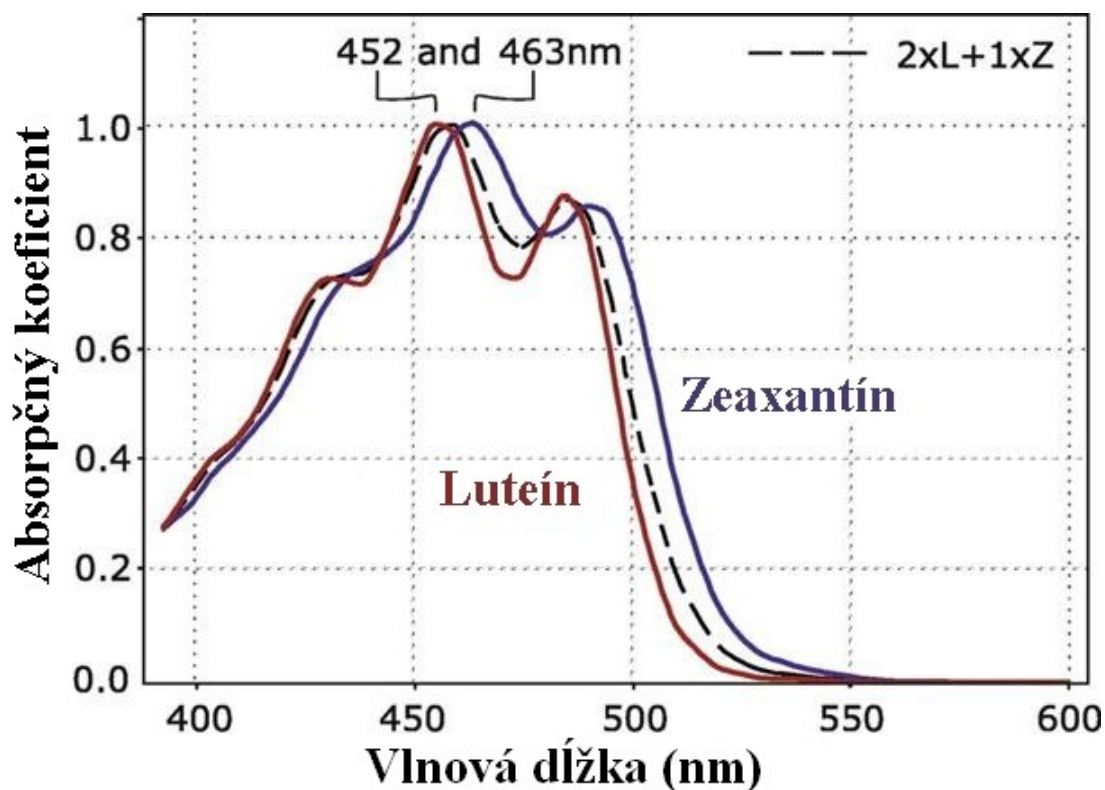
Schopnosť luteínu filtrovať modré svetlo je pasívnym antioxidantným procesom. Redukuje produkciu radikálov vyvolanú modrým svetlom, a tým možnú tvorbu reakcie oxidatívneho reťazca, spôsobenú práve radikálmi [8]. Parciálny tlak kyslíka je vo väčšine tkanív relatívne nízky – cca 30 mmHg alebo menej. Avšak vo vonkajších segmentoch fotoreceptorov je parciálny tlak kyslíka relatívne vysoký. Tento tlak, ktorý môže dosiahnuť až 70 mmHg, čo následne vyvoláva vysokú hladinu tvorby singletového kyslíka, a skrz fotosenzibilizačné žiarenie modrého svetla môže viesť ku nevratným poškodeniam rôznych bunkových štruktúr.

V dôsledku svojej vlnovej dĺžky (380-480 nm), prechádza modré svetlo skrz celý predný segment a dráždi makulu. Keďže vrchol absorpcie makulárneho pigmentu je 460 nm, poskytuje ideálnu filtračnú bariéru voči krátkym vlnovým dĺžkam ešte pred dosiahnutím fotoreceptorov.



Obrázok č. 5 – Filtrácia modrého žiarenia za pomoci makulárneho pigmentu. [38]

Po chemickej stránke je schopnosť karotenoidov absorbovať svetlo odvodená z prítomnosti polyenových dvojitéch väzieb. Maximum absorpčnej vlnovej dĺžky súvisí s rozsahom týchto väzieb. Oba, luteín i zeaxantín, majú v polyenovom reťazci deväť dvojitéch väzieb. Pričom luteín má absorpčný vrchol v 452 nm a zeaxantín v 463 nm. Tento malý rozdiel v absorpčných maximách je daný reakciou medzi polyenovým reťazcom a okrajovými hydroxilovými prstencami.



Obrázok č. 6 – Vrchol absorpcie zrakových pigmentov luteínu a zeaxantínu. [2]

Vďaka svojmu priestorovému usporiadaniu v makulárnom pigmente je luteín schopný podstatne efektívnejšie filtrovať modré svetlo než zeaxantín. Hlavným dôkazom je fenomén nazývaný Haidingerov snop, ktorý je demonštrovaný na nasledujúcom obrázku č.7.



Obrázok č. 7 – Haidingerov snop. [41]

Ide o schému štvorlístku, ktorý sa skladá z modrého a žltého obrazca v tvare presýpacích hodín. Ak chceme v praxi vidieť Haidingerov obrazec, môžeme si to natréňovať tak, že sa postavíme kolmo chrbtom k slnku, a hľadáme na uniformnú modrú oblohu. Ak pozeráme na takúto uniformnú plochu, po chvíli by sa nám mal ukázať žltý obrazec presýpacích hodín o veľkosti asi nášho prsta, a pri dostatočnom tréningu by sme mali zahliadnuť modrý zväzok kolmý na žltý obrazec. V tom momente môžeme povedať, že žltá časť obrazca je kolmá na rovinu polarizácie lineárne polarizovaného svetla. Vnímanie tohto obrazca vychádza z usporiadania molekúl luteínu. Molekuly luteínu sú totiž vysoko organizované, rovnobežne usporiadané dlhé molekuly, ktoré maximálne pohlcujú žiarenie s polarizáciou paralelnou s osou molekuly a minimálne svetlo s polarizáciou kolmou. Časť molekúl luteínu je vždy usporiadaných tak, že ak je osa polarizácie kolmá k ich horizontu, molekuly absorbujú minimum žiarenia. Ďalšia časť molekúl je naopak orientovaná rovnobežne s osou polarizácie, vplyvom čoho dochádza k maximálnej absorpcii modrého žiarenia. Oko teda vždy ako prvý spozoruje žltý zväzok presýpacích hodín, ktorý je kolmý na rovinu polarizácie, a kde došlo k najmenšej absorpcii svetla. Farebná povaha tohto javu zároveň napovedá, že ho detekujú čapíky na sietnici v oblasti žltej škvrny, makuly. [17]

Je vysoko pravdepodobné, že redukcia intenzity modrého svetla, ktorá reálne dosahuje iba 40 %, by mohla dosahovať až 90 %, a tak by došlo k významnému obmedzeniu negatívnych účinkov pôsobenia modrého svetla – ako je oxidácia vedúca ku rozvoju očných ochorení.

3.3. Vplyv na kvalitu zraku

Najaktuálnejšou témou funkcie luteínu a celkovo makulárneho pigmentu, je hypotéza jeho „optických“ vlastností. Makulárny pigment by údajne mohol zlepšiť zrakovú výkonnosť, a/alebo zabezpečiť komfort utlmením chromatických aberácií, vďaka schopnosti odfiltrovať krátke vlnové dĺžky svetla. Tieto terciálne vlastnosti makulárneho pigmentu sú stále predmetom štúdií. Aj napriek tomu, že ešte nedošlo k spoločnému konsenzu, existujú dôkazy, že pravidelným dávkovaním luteínu u pacientov trpiacich VMPD a/alebo kataraktou, došlo ku zlepšeniu zrakového vízu. V nedávnej dvojito zaslepanej, placebom kontrolovanej štúdie Richer spol. [18] zistili, že po 12 mesiacoch podávania 10 mg luteínu alebo 10 mg luteínu + antioxidant, 56 pacientov s atrofickou VPMD preukázalo zlepšenie od 3,5 až po 5,6 písmen na Snellových optotypoch spolu so zlepšením kontrastnej citlivosti. Vo víze pacientov, ktorí dostávali placebo nedošlo k žiadnemu zlepšeniu.

Olmedilla a spol. [19] v 2003 roku preukázali podobné výsledky u pacientov s kataraktou, ktorí dostávali 15 mg luteínu, 3-krát týždenne po dobu 2 rokov. Ich výsledky dokázali, že vízus pacientov, ktorí brali luteín, sa zlepšil skoro o jeden riadok.

Avšak stále zostáva nejasné, či je zlepšenie spôsobené filtráciou krátkych vlnových dĺžok modrého svetla, alebo ide o zlepšenie fyziologickej funkcie u pacientov postihnutých VPMD a kataraktou. Antioxidačné vlastnosti makulárneho pigmentu totiž môžu zlepšovať optickú, okulárnu, neurologickú a fyziologickú funkciu skrz celý zrakový systém.

4. Luteín ako prirodzená zložka potravy

Je dokázané, že dodávanie luteínu, či už vo forme potravy alebo doplnku zvyšuje hladinu makulárneho pigmentu, a takisto môže zlepšiť zrakové funkcie u jedincov postihnutých VPMD alebo kataraktou. – vid' kapitola č. 5. [6]

Podľa United States Department of Agriculture (USDA), americký denný príjem luteínu pre rok 2001 predstavuje okolo 1,7 mg. Pre Európu sa táto hodnota pohybuje okolo 2, 2 mg luteínu denne. Ak porovnáme tieto hodnoty s USDA potravinovou pyramídou, kde denný príjem predstavuje 3 až 5 zeleninových jedál odpovedajúcich 3,8 mg luteínu denne, môžeme s istotou potvrdiť, že priemerný denný príjem luteínu je o viac ako polovicu nižší, než by mal byť. Tento fakt potvrdzuje, že denné hodnoty príjmu sú podstatne nižšie, než je odporúčaná hraničná úroveň 6 až 14 mg luteínu denne, ktorá je spojovaná s viac ako 50 percent zníženým rizikom vzniku VPMD a šedého zákalu. [6]

4.1. Jedlo s obsahom luteínu

Ľudské telo si nedokáže vytvárať luteín samo, a preto je nutné ho dodávať vo forme potravy. Karotenoidy sú syntetizované výhradne fotosyntetizujúcimi rastlinami. Práve luteín patrí medzi karotenoidy, ktoré sú najviac rozšírené v ovocí a zelenine. Hlavným zdrojom luteínu sú tmavozelené listové potraviny ako sú špenát, mangold, kel, pór, ale aj brokolica, zelená špargľa, hrášok, kukurica či mrkva. Zdroj môžu predstavovať aj rôzne semienka ako je pšenica či tekvicové semiačka. Luteín sa takisto nachádza v oranžovom či žltom ovocí ako je mango, papája, pomaranče, melón či hrušky. A nakoniec zo živočíšnej stravy je luteín bohato obsiahnutý vo vaječných žĺtkoch. [4]

Zelenina/ovocie	Luteín/zeaxantín [$\mu\text{g}/100\text{g}$]
Kel (surový)	39 550
Špenát	11 938
Brokolica	2 445
Hrášok	1 350
Kukurica	884
Mrkva	2 097
Papaya	75
Pomaranč	187

Tabuľka č. 1 - Obsah luteínu v rôznych druhoch ovocia či zeleniny. [6]

V predchádzajúcej tabuľke č. 1 môžeme vidieť, že najefektívnejšie zdroje luteínu sú kel spolu so špenátom, kedy pri konzumácii 100 gramov kelu prijmeme približne 40 gramov luteínu.

Je však nutné poznamenať, že ľudské telo ľahšie vstrebá luteín, ktorý je obsiahnutý v žĺtku vajíčka, ako luteín rastlinný, a to aj napriek tomu, že žĺtok obsahuje menej luteínu než napríklad špenát či brokolica. Dôvodom je fakt, že vaječný žĺtok obsahuje tuky (cholesterol), a luteín je v tukoch rozpustný karotenoid, preto nemôže byť vstrebávaný bez ich prítomnosti. Preto ak chceme využiť príjem luteínu naplno, je nutné, aby sme pridali do zeleninových jedál vždy aspoň trochu olivového oleja. [42]

4.2. Luteínové doplnky

Vďaka karotenoidovým doplnkom môžeme príjem luteínu až dvojnásobne zvýšiť, čo predstavuje výrazné zlepšenie oproti klasickému dennému množstvu luteínu prijatého napr. zo špenátu.

Pre komerčné účely sa v Mexiku, Peru, Ekvádore, Španielsku, Indii a Číne pestuje rastlina s názvom aksamietnica vzpriamená. Jej sušené kvety obsahujú 0,1- 0,16 % karotenoidov, z čoho asi 90 % tvoria estéry luteínu. Extrakciou sušených a rozmliaždených kvetov sa získava nepolárny extrakt. Purifikáciou nepolárneho extraktu získame luteín estér. Ak luteín estér následne saponifikujeme, získame voľný luteín. Obe tieto formy luteínu, či estér luteínu, tak voľný luteín, sa komerčne využívajú pre výrobu potravinových doplnkov. Producenti na trhu ponúkajú luteín a luteín estér v troch rôznych podobách – v práškovej forme, olejovej forme alebo vo forme kapsúl. [5]

Momentálne je vedených množstvo štúdií s cieľom zistiť účinky luteínových doplnkov. Tieto výskumy zahrňujú čoraz vyššie dávky luteínu, no doposiaľ žiaden výskum nepotvrdil vedľajšie účinky predávkovania luteínom. Ako príklad môžeme uviesť dávky s 20 mg luteínu denne po dobu 6 mesiacov, dávky 30 mg po dobu 5 mesiacov alebo dokonca 40 mg počas 2 mesiacov. Pri analýze séra lipidov, monitorovaní krvných zmien, vyšetrení zraku, šošovky a očného pozadia neboli zistené žiadne negatívne či toxické účinky luteínu. Jediným vedľajším efektom bola karotenodermia (neškodné a reverzibilné ochorenie, ktoré sa prejavuje ako žlto-oranžové zafarbenie pleti). [4, 6]

5. Vplyv cielenej konzumácie luteínu

Počet výskumov o pôsobení luteínu vzrástol v momente potvrdenia prítomnosti luteínu a zeaxantínu v makule a po zistení, že pacienti trpiaci vekom podmienenou makulárnou degeneráciou majú podstatne nižšie hladiny makulárneho pigmentu. V dôsledku toho, že VPMD má multifaktoriálnu povahu, sa preukázalo, že prevedenie týchto výskumov môže byť veľmi zdĺhavé a náročné na uplatnenie konečného záveru. Avšak aj navzdory takýmto komplikáciám vzrastá konsenzus, že vďaka svojej prítomnosti môže luteín chrániť sietnicové receptory voči modrému žiareniu, ako jednému z rizikových faktorov vekom podmienenej makulárnej degenerácie či šedého zákalu.

- **Hladina hustoty makulárneho pigmentu – luteínu**

V štúdiu z roku 2001, skupina z univerzity v New Hampshire pod vedením Joanne Curran-Celentano [20] zistovala, aký je vzťah medzi príjmom vo forme jedla či doplnku a hustotou makulárneho pigmentu. Výskum pozostával zo skupiny 280 zdravých jedincov, ktorí spĺňali zdravotné a stravovacie podmienky, darovali krv a zúčastnili sa, kvôli zisteniu sietnicového makulárneho statusu, posúdenia hustoty makulárneho pigmentu. Ich výskum odhalil pozitívne vzrastajúcu koreláciu medzi hustotou makulárneho pigmentu a obomi formami príjmu luteínu (príjem čistého luteínu vo forme doplnku a príjem luteínu so zeaxantínom obsiahnutých v potrave).

V roku 2008 prebehla epidemiologická štúdia, ktorú viedol J.M. Nolan, J., Stack, E. O'Connell a E. Beatty [21]. Po zapojení 828 zdravých írskych jedincov bol preukázaný pozitívny vzťah medzi príjmom luteínu a zeaxantínu, sérovými koncentraciami týchto karotenoidov a centrálnou hladinou makulárneho pigmentu.

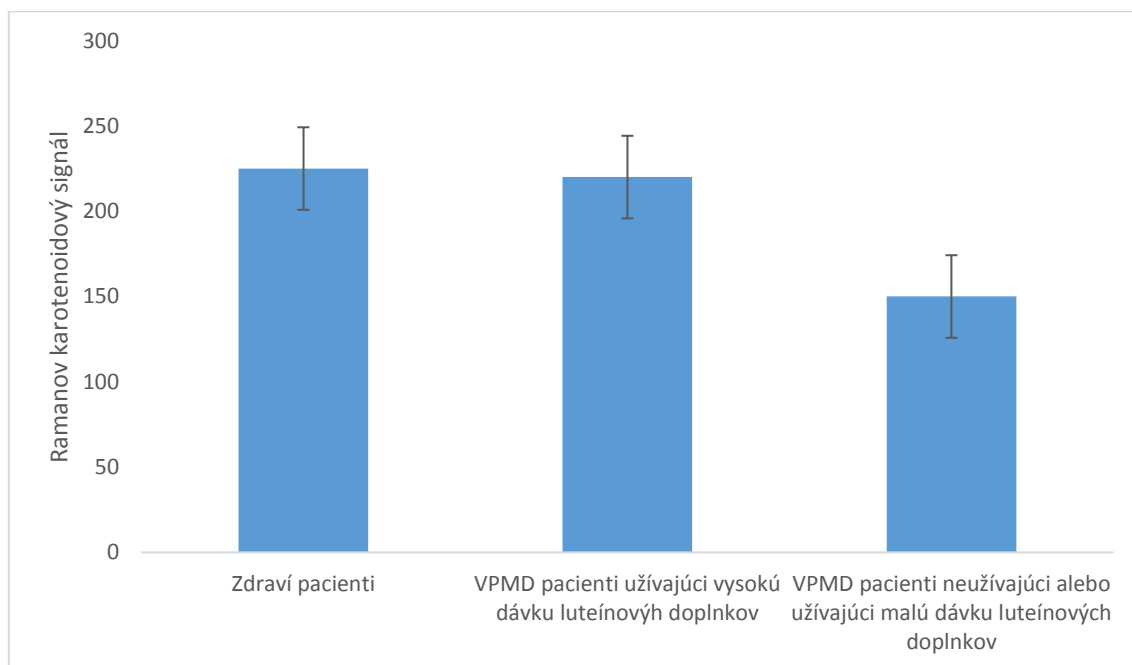
Túto štúdiu môžeme podporiť aj aktuálnejším výskumom z roku 2013. Ide o dvojito zaslepenú, placebo-kontrolovanú výskum pod názvom LUTEGA [22]. Výskumu sa zúčastnilo 172 pacientov s ne-exudatívnou formou VPMD, rozdelených do troch skupín. Prvá skupina dostávala jedenkrát a druhá dvakrát dávku 10 mg luteínu, 1 mg zeaxantínu, O-3-LCPUFA a antioxidanty a tretia dostávala placebo. Skupinám bola odobraná krv, zmeraná zraková ostrosť s najlepším vízom, a tiež zmeraná hladina makulárneho pigmentu. Po dvanástich mesiacoch výskumu, významne stúpili parametre hladiny makulárneho pigmentu v skupine prvej a druhej, a zároveň klesli v placebo skupine.

Tieto výsledky naznačujú, že hladina makulárneho pigmentu môže byť modulovaná aj u pacientov, ktorí trpia vekom podmienenou makulárnou degeneráciou.

- **VPMD**

Prvé štúdie, ktoré iniciovali rozvoj myšlienky, že luteín a zeaxantín majú vplyv na riziko rozvoju vekom podmienenej makulárnej degenerácie, boli publikované už v rokoch 1993 a 1994. Výsledky štúdie Seddona a kolektívu [23] z roku 1994 potvrdzovali, že jedinci s vyššími krvnými hladinami a vyšším príjmom luteínu a zeaxantínu majú o 43 % znížené riziko vzniku VPMD.

Odvtedy prebehlo množstvo observačných štúdií, ktoré mali za úlohu ohodnotiť vzťah medzi potravinovým príjmom, sérovými hladinami luteínu a rizikom VPMD. Jednou z nich bola aj štúdia Bernsteina a spol. [6] z roku 2002, ktorá takisto tvorila základ pre nasledujúce výskumy. Berstein totiž dospel ku konkrétnym výsledkom, keď v skupine pacientov s VPMD konzumujúcich luteín (≥ 4 mg/deň) a kontrolnej skupine zdravých jedincov, hladina makulárneho pigmentu bola o 32 % vyššia oproti VPMD pacientom, ktorí luteín nebrali (<275 μ g/deň). Avšak hladiny pacientov s VPMD boli zrovnateľné s hladinami zdravých pacientov – vid' graf č. 1. [6]



Graf č. 1 – Meranie hladiny makulárných karotenoidov Ramanov spektroskopiou. (Výška stĺpcov odpovedá priemernej hodnote signálu a dĺžky úsečiek odpovedajú štandardnej chybe.) [6]

Tieto epidemiologické štúdie predstavujú z observačného hľadiska rozsiahly dôkaz, že príjem luteínu a zeaxantínu z jedla je spojený so zníženým rizikom VPMD; avšak, pre potvrdenie tohto vzťahu sú potrebné ďalšie kontrolované intervenčné štúdie.

Jedným z posledných veľkých výskumov, ktoré prebehli, je americký výskum pod skratkou AREDS2, ktorý nadviazal na predošlý výskum o vekom podmienených očných ochoreniach so skratkou AREDS. AREDS2, alebo inak povedané Štúdia vekom podmienených očných chorôb 2, ešte pridala k pôvodnej AREDS zostave doplnkov (t.j.: 500 mg vitamínu C, 400 UI vitamínu E, 15 mg beta-karoténu, 80 mg zinku a 2 mg medi) kombináciu luteínu (10 mg/deň) a zeaxantínu (2 mg/deň) samotné alebo v kombinácii s omega-3 masťnými kyselinami - kyselina dokosahexaenová - DHA (350 mg/deň) a kyselina eikosapentaenová - EPA (650 mg/deň). Cieľom bolo ohodnotiť ich vplyv na progresiu v pokročilej forme VPMD u jedincov s vysokým rizikom pre tvorbu bilaterálnych veľkých vlhkých drúz a/alebo jedincov s už pokročilou formou VPMD na jednom oku. Rozhodnutie pridať luteín a zeaxantín do originálnej AREDS formuly bolo čiastočne kvôli analýze príjmu L a Z u jednotlivých jedincov, pričom jedinci s ich najvyššími hodnotami mali najnižšie riziko vzniku VPMD. AREDS2 začala v roku 2008 s približne 4000 pacientami, ktorých rozdelili do štyroch skupín. Prvá skupina bola kontrolná a užívala iba pôvodnú AREDS kombináciu, druhá skupina brala luteín a zeaxantín, tretia užívala iba DHA a EPA, a štvrtá skupina dostávala kombináciu L, Z spolu s EPE a DHA. Výskum trval 5 rokov, pričom bol štrukturovaný, aby poskytol dôkaz o efektívnosti luteinovej a zeaxantínovej suplementácie v úlohe prevencie VPMD. Výsledky však potvrdili, že prídanie luteínu a zeaxantínu vo všeobecnosti pomohlo iba o trochu viac, ku jemnému zlepšeniu došlo vďaka výmene pôvodného beta-karoténu za luteín a zeaxantín. Ku závažnejšiemu zlepšeniu došlo iba v prípade podskupiny, ktorá mala nízke hladiny príjmu L a Z, a vtedy prídanie kombinácie týchto karotenoidov prispelo ku zníženiu rizika VPMD. [24, 25]

Potvrdiť priamy vzťah medzi makulárnym pigmentom a rizikom vzniku vekom podmienenej makulárnej degenerácie je však veľmi náročné, a to hlavne kvôli rôznym premenným, ako napríklad: metóda merania hladiny, diét, posúdenie suplementácie, vek, štádium ochorenia a podobne. Vďaka týmto premenným existujú dva výskumy, ktoré nepotvrdili vzťah medzi hladinou makulárneho pigmentu a VPMD. [25]

K ďalším premenným patrí aj, v poslednom období veľmi diskutovaný, vplyv modrého žiarenia. S prvými podkladmi z 80. rokov vzrastala vzájomná zhoda, že hromadné celoživotné vystavenie sa modrému svetlu zvyšuje riziko vzniku VPMD. Medzi nosné piliere patria aj výskumy, ktoré demonštrovali, že v porovnaní s laboratórnymi potkanmi vychovávanými v tme, všetky potkany odchovávané pod umelým svetlom boli postihnuté léziami vedúcimi k VPMD [2]. Nasledujúce prieskumy boli venované štúdiu týchto lézií na opičích sietniciach. Opice boli vystavené meniacemu sa svetlu o rôznych vlnových dĺžkach. Vedci zistili, že na prepuknutie lézie je treba 70-1000 krát menej energie pri použití modrého svetla, než v porovnaní s použitím infračerveného svetla [2]. Tieto výsledky spôsobili zvýšený záujem o túto tému, a tak došlo ku preukázaniu vyššie spomínaných vzťahov nepriaznivého pôsobenia modrého svetla na hladiny makulárneho pigmentu a následných oxidatívnych zmien vedúcich ku vzniku ochorenia očného pozadia – vid' kapitola č. 2. Jedna z posledných analýz z roku 2008, vedená European Eye Study[26] zistila významnú koreláciu medzi hromadným ožiarением viditeľným svetlom a progresívnou VPMD u pacientov v nízkymi hladinami antioxidantov, vrátane luteínu a zeaxantínu. Aktuálnejšie štúdie z roku 2011 [27] boli vykonávané na sietniciach ôsmych makakov, ktorí celoživotne trpeli nedostatočným príjmom xantofilov (t.j. nemali žiaden makulárny pigment). Ako kontrolné subjekty figurovali 4 makaky, ktoré počas života mali zabezpečený dostatočný príjem luteínu a zeaxantínu. Všetky makaky vystavili vplyvu nízko-energetického laserového svetla o dĺžke 467 nm – vrchol citlivosti makulárneho pigmentu na modré žiarenie. Počas ďalších šiestich mesiacov boli výskumné opice kŕmené dostatočnými dávkami luteínu a zeaxantínu, a znovu vystavené modrému laserovému žiareniu. Po oftalmoskopickom vyšetrení vykazovali kontrolné opice menej závažných lézií vo foveálnej oblasti, ako v parafoveálnom regióne, kde sa makulárny pigment nenachádza. U opíc s celoživotne nízkymi hladinami, ešte pred dávkovaním luteínu a zeaxantínu, boli lézie vo foveálnej a parafoveálnej oblasti rovnaké, čo potvrdzuje ochranné účinky makulárneho pigmentu. Po obnovení hladiny makulárneho pigmentu za pomoci luteínu a zeaxantínu, sietnice skúmaných opíc už nevykazovali vo foveálnej oblasti takú citlivosť na laserové žiarenie, než v porovnaní s parafoveálnou oblasťou, a stav lézií jej oblasti bol takmer rovnaký, ako u kontrolných jedincov.

Inak povedané, existuje množstvo dôkazov, ktoré naznačujú, že nadmerné vystavovanie sa svetlu o krátkych vlnových dĺžkach je dôležitý faktor podporujúci vznik vekom

podmienenej makulárnej degenerácie, pričom mechanizmus spočíva vo fotooxidatívnom poškodení v čase dopadu krátkych vlnových dĺžok viditeľného spektra na sietnicu.

Záverom však je, že aj napriek dlhodobému karotenoidovému deficitu, suplementácia pomocou luteínu a zeaxantínu dokáže zabezpečiť dostatočnú foveálnu ochranu. Samozrejme, ľudstvo zatiaľ nie je vystavované takýmto extrémnym podmienkam (minimálna hladina makulárneho pigmentu, intenzívne modré žiarenie), a preto vznikajú rôzne štúdie zamerané na denné vystavenie sa modrému svetlu. Tieto výskumy prichádzajú s výsledkami, ktoré naznačujú, že hladiny luteínu a zeaxantínu počas dňa zostávajú modrým svetlom a oxidáciou neovplyvnené. Avšak, ku významným zmenám dochádza až práve v dlhodobých časových úsekoch. [28]

- **Katarakta**

Výsledky výskumov sú celkom povzbudivé v prípade, ak sa zameriame na „akúkoľvek kataraktu“. Štúdie Dherani et al. [29] a Ravindran [30] u indickej populácie s vyššími sérovými hladinami luteínu a zeaxantínu potvrdili, že takíto pacienti majú nižšie riziko vzniku katarakty. Tento výsledok podporila aj štúdia z roku 2013 pod vedením Rodriquéza-Rodriquéza [31] so skupinou 177 starších pacientov nad 65 rokov. Jedinci, ktorí konzumovali viac ako 3290 µg luteínu denne, mali menšie riziko rozvinutia katarakty, než jedinci, ktorí užívali iba menej ako 256 µg denne. Okrem ich diétného príjmu boli pacienti rozdelení aj do skupín pacientov, ktorí v priebehu života boli počas práce vystavení svetlu a na tých, ktorí pracovali vo vnútri. Záverom tejto štúdie bolo, že existuje vzťah medzi vystavením sa slnečnému svetlu a rozvojom katarakty, a že luteín spolu so zeaxantínom môžu predstavovať určitú formu ochrany voči tomuto ochoreniu.

Ak sa však odborníci zamerali konkrétne na nukleárnu kataraktu, výsledky týchto štúdií však už neboli jednoznačné. Staršie výskumné dáta od Beaver Dam Eye study [32] a The POLA Study [33] odhaľujú, že zvýšený status luteínu a zeaxantínu je asociovaný so zníženým rizikom vzniku nukleárnej katarakty. No v prípade štúdie CAREDS [34] z roku 2004, ktorá skúmala vzťah medzi nukleárnou kataraktou a príjmom L a Z u približne 1800 žien, sa potvrdila len nepatrná asociácia. Podobne tak bolo aj v prípade už spomínanej AREDS2 štúdie, ktorá obsahla aj vekom podmienenú kataraktu, a nepreukázala žiaden štatisticky významný vzťah medzi týmto ochorením a príjmom luteínu a zeaxantínu. [35]

Najaktuálnejšou štúdiou, zameranou na rizikové faktory ovplyvňujúce očné choroby, je Nurses' Health Study [36], ktorá ukončila svoje pôsobenie v roku 2016. Výsledky v prípade vzťahu katarakty a príjmu antioxidantov preukázali, že zvýšený príjem vitamínu A, luteínu a zeaxantínu, spolu s jedlom bohatým na L a Z (napr. špenát) znižuje riziko prepuknutia ochorenia do štádia nutnosti chirurgickej extrakcie jadra až o 20 – 30 %.

Je jasné, že na rozdiel od VPMD, sa názory na koreláciu katarakty a príjmu luteínu a zeaxantínu podstatne rozchádzajú. Avšak práve tieto rozdiely povzbudzujú vedeckú populáciu k tomu, aby iniciovala stále nové výskumy potrebné pre ďalšie prešetrenie tohto vzťahu. Je však nutné podotknúť, že v rámci štúdií boli zapojené aj iné výživné doplnky, a práve preto sa ukázalo ako veľmi náročné objektívne ohodnotiť vplyv len jednej látky. [37]

Záver

Hlavnou úlohou tejto práce bolo zodpovedať česko-slovenskému publiku otázku, akú úlohu zohráva luteinový pigment v boji voči artificiálnemu modrému žiareniu.

Prvá kapitola tejto práce oboznamuje čitateľa so základným pojmom „luteín“. Dozvieme sa, aká je jeho chemická stavba, kde sa nachádza jeho poloha v zrakovom aparáte a metódy, akými sa dajú zmerať jeho hladiny. Do druhej kapitoly sme zaradili protivníka, s ktorým každý deň luteín bojuje – modré svetlo. V tejto časti sa dozvedáme najskôr o pozitívnych vlastnostiach, a následne je väčšia podkapitola venovaná jeho negatívnym účinkom a s tým spojenými očnými ochoreniami, ako je vekom podmienená makulárna degenerácia a šedý zákal. Tretia kapitola je rozdelená do troch podkapitol, ktoré podrobne rozoberajú ochranný mechanizmus luteínu. Luteín dokáže pôsobiť antioxidantne, pasívne antioxidantne formou filtrácie modrého svetla, a takisto ovplyvňuje vizuálny vnem jedinca. Témou štvrtej kapitoly je príjem luteínu. Dve podkapitoly postupne predstavujú jedlá, v ktorých sa luteín nachádza a návod ako zefektívniť jeho vstrebanie, a na záver načrtávajú tému efektivity užívania luteínu vo forme doplnkov. Piata a zároveň posledná kapitola má za úlohu podčiarknuť celú prácu. Predstavuje reálne výskumy, zamerané na cieľný príjem luteínu s cieľom boja proti očným ochoreniam.

Prínos tejto práce by mal spočívať v zhrnutí viacerých informácií do jedného dokumentu, a tak poskytnúť čitateľovi možnosť si utvoriť obraz o tejto problematike. Je teda vplyv modrého žiarenia iba fáma? Dokáže luteín filtrovať modré svetlo? Môže zvýšenie hladiny luteínu zlepšiť efektivitu boja proti modrému svetlu? Modré žiarenie, ako jediné škodlivé svetlo, je schopné dosiahnuť až ku sietnici (makule). Je dokázané, že modré žiarenie spôsobuje vznik voľných kyslíkatých radikálov. Pri nadmernom ožarení dôjde na sietnici ku stavu, pri ktorom je množstvo radikálov väčšie ako množstvo antioxidantov, a tak dochádza ku oxidačnému stresu, ktorý predstavuje rizikový faktor pre vznik VPMD. Kde tieto antioxidanty môžeme nájsť? Luteín spolu so zeaxantínom sú karotenoidy, ktoré tvoria makulárny pigment. Hlavou úlohou karotenoidov je ich schopnosť pôsobiť ako antioxidant, a presunutím elektrónu alebo naviazaním radikálu stabilizovať oxidačný stres spôsobený reaktívnymi formami kyslíku, t.j. radikálmi. Okrem iného, karotenoidové pigmenty majú ako jediné vrchol absorpcie v 460 nm, a tak sú schopné odfiltrovať a ochrániť tyčinky a čapíky ešte pred tým, ako na ne modré žiarenie dopadne. Na záver je preto na mieste otázka – aký čas a aké množstvo žiarenia je pre nás nadmerné? Výskumy

dokázali, že z krátkodobého hľadiska je vplyv modrého svetla pre nás irelevantný. Avšak z dlhodobého hľadiska, vzrastá konsenzus, že modré žiarenie predstavuje určité riziko rozvinutia očných ochorení. Avšak pomocou cielej konzumácie luteínu by sme mohli odvrátiť vznik či spomaliť ich rozvinutie. Zároveň môžeme tvrdiť, že pre zavedenie jednoznačného záverečného stanoviska je nutné vykonať omnoho viac výskumov.

Zoznam použitej literatúry:

- [1] LINAZASORO, Iñaki. *Optica Linazasoro – tu óptica en Donostia – San Sebastián* [online]. © akt. 23.09.2017 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <https://linazasoro-optika.eus/>
- [2] STRATTON, Robert D. HAUSWIRTH, William W. GARDNER, Thomas W. *Studies on retinal and choroidal disorders*. New York: Humana Press, 2012. ISBN 978-1-61779-605-0.978-1-61779-605-0.
- [3] ČAPÁKOVÁ, R. *Využití Ramanovy spektroskopie v potravinářství: bakalářská práce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíne, Technologická fakulta, 2012.
- [4] BEGOÑA, OLMEDILLA, Alonso. FERNANDO, GRANADO, Alonso. BLANCO, NAVARRO, Inmaculada. *Carotenoides y salud humana*. Madrid: Fundación Española de Nutrición, 2001. ISBN 8493054429.
- [5] ŠIVEL, Miroslav. KLEJDUS, Bořivoj. KRÁČMÁŘ, Stanislav. KUBÁŇ, Vlastimil. *Lutein – významný karotenoid ve výživě člověka*. Chemické listy 107. [online]. © 2013 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2013_06_456-463.pdf
- [6] ALVES, RODRIGUES, Alexandra. SHAO, Andrew. *The science behind lutein*. Toxicology Letters [online]. Vol. 150, 2004, No.1, pp. 57-83, ISSN 03784274.
- [7] LIMA, Verônica, ROSEN, Richard. FARAH, Michel. *Macular pigment in retinal health and disease*. International Journal of Retina and Vitreous [online]. Vol. 2, 2016, No.1, ISSN 2056-9920.
- [8] KRINSKY, Norman I. LANDRUM, John T. BONE, Richard A. *Biologic mechanisms of the protective role of lutein and zeaxanthin in the eye*. Annual Review of Nutrition [online]. Vol. 23, 2003, No. 1, pp. 171-201, ISSN 0199-9885.
- [9] Viditeľné svetlo. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: https://sk.wikipedia.org/wiki/Vidite%C4%BEn%C3%A9_svetlo

- [10] KIRK, Smick. VILLETTE, Thierry. BOULTON, Michael E. BRAINARD George C. JONES, William. KARPECKI, Paul. MELTON, Ron. THOMAS, Randal. *UV and Blue-Violet Light, ocular risks and prevention*. Points de Vue – International Review of Ophthalmic Optics. Special edition – Collection of articles from 2011 to 2015 [online]. © 2013 Essilor of America, pp. 39-48 [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://www.pointsdevue.com/sites/default/files/uv-bluelight-e-book.pdf>
- [11] SKORKOVSKÁ, K. SKORKOVSKÁ, Š. *Vnitřně fotosenzitivní gangliové bunky sítnice*. Česká a slovenská oftalmologie. Vol.71, 2015, No. 3, pp. 144-149.
- [12] WET AMD – AMD.ORG. *AMD.org – Macular Degeneration Partnership* [online]. © All rights reserved. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://amd.org/what-is-macular-degeneration/wet-amd/>
- [13] ČESKÁ VITREORETINÁLNÍ SPOLEČNOST. *Důsledky VPMD z hlediska humanitárního, sociálního a ekonomického*. [online]. Česká vitreoretinální společnost. © 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z <http://www.cvrs.cz/vpmd-sekce02.php>
- [14] - BAILEY, Gretchyn. THOMPSON, Vance. *All about vision: Cataracts*. [online]. San Diego, California. © 2017 [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <http://www.allaboutvision.com/conditions/cataracts.htm#top>
- [15] KITCHEL, Elaine. *The effects of blue light on ocular health*. Journal of Visual Impairment & Blindness. Vol. 94, 2000, No. 6, pp. 399-403.
- [16] Základní reaktivní formy kyslíku a dusíku. In: *Wikiskripta: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Z%C3%A1kladn%C3%AD_reaktivn%C3%AD_formy_kysl%C3%ADku_a_dus%C3%ADku
- [17] FYZMATIK PÍŠE. *Fyzmatik píše: Haidengerův snop - oko vidí polarizované světlo*. [online]. © fyzmatik, All rights reserved. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/1351-haidengeruv-snop-okovidi-polarizovane-svetlo.html>
- [18] RICHER, S. *Double-masked, placebo-controlled, randomized trial of lutein and antioxidant supplementation in the intervention of atrophic age-related macular degeneration: the Veterans LAST study (Lutein Antioxidant Supplementation Trial)*. Optometry [online]. Vol. 74, 2004, No. 4, pp. 216-230.

- [19] OLMEDILLA, B. *Lutein, but not alpha-tocopherol, supplementation improves visual function in patients with age-related cataracts: a 2-y double-blind, placebo-controlled pilot study*. Nutrition [online]. Vol. 19, 2013, No. 1, pp. 21-24.
- [20] CURAN-CELENTANO, Joanne. *Relation between dietary intake, serum concentrations, and retinal concentrations of lutein and zeaxanthin in adults in a Midwest population I,2,3*. American Society for Clinical Nutrition [online]. Vol. 74, 2001, No. 6, pp. 796-802.
- [21] NOLAN, J.M. *The relationships between macular pigment optical density and its constituent carotenoids in diet and serum*. Invest Ophthalmol Vis Sci. [online]. Vol. 48, 2007, No. 2, pp. 571-82.
- [22] DAWCZYNSKI, Jens. *Long term effects of lutein, zeaxanthin and omega-3-LCPUFAs supplementation on optical density of macular pigment in AMD patients: the LUTEGA study*. Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology [online]. Vol. 25, 2013, No. 12, pp. 2711–2723.
- [23] SEDDON, J.M. *Dietary carotenoids, vitamins A, C, and E, and advanced age-related macular degeneration. Eye Disease Case-Control Study Group*. JAMA [online]. Vol. 272, 1994, No. 18, pp. 1413-1420.
- [24] NATIONAL EYE INSTITUTE. *Age-Related Eye Disease Study--Results*. [online]. Bethesda, © 2013 [cit. 2017-09-24]. Dostupné z: <https://www.nei.nih.gov/amd/>
- [25] BERNSTEIN, Paul S. DELORI, François. RICHER, *The value of measurement of macular carotenoid pigment optical densities and distributions in age-related macular degeneration and other retinal disorders*. Vision Research [online]. Vol. 50, 2010, No.7, pp. 716-728, ISSN 00426989.
- [26] FLETCHER, Astrid E. *Sunlight Exposure, Antioxidants, and Age-Related Macular Degeneration*. Archives of Ophthalmology [online]. Vol. 126, 2008, No. 10, pp. 1396-1403, ISSN 0003-9950.

- [27] CARROLL, N. *Nutritional manipulation of primate retinas, V: effects of lutein, zeaxanthin, and n-3 fatty acids on retinal sensitivity to blue-light-induced damage.* Invest Ophthalmol Vis Sci. [online]. Vol. 52, 2011, No. 7, pp. 3934-3942.
- [28] WENZEL, Adam J. *Light Exposure and Macular Pigment Optical Density.* Investigative Ophthalmology & Visual Science [online]. Vol. 44, 2003, No. 1, pp. 306-309, ISSN 1552-5783.
- [29] DHERANI, Mukesh. *Blood Levels of Vitamin C, Carotenoids and Retinol Are Inversely Associated with Cataract in a North Indian Population.* Investigative Ophthalmology & Visual Science [online]. Vol. 49, 2008, No. 8, pp- 3328- 3335, ISSN 1552-5783.
- [30] RAVINDRAN, Ravilla D. *Inverse Association of Vitamin C with Cataract in Older People in India.* Ophthalmology [online]. Vol. 118, 2011, No. 10, pp. 1958-1965, ISSN 01616420.
- [31] RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, Ortega. LÓPEZ-SOBALER, Aparicio. *The Relationship Between Antioxidant Nutrient Intake and Cataracts in Older People.* International Journal for Vitamin and Nutrition Research [online]. Vol. 76, 2006, No. 6, pp. 359-366, ISSN 0300-9831.
- [32] LYLE, J. Barbara. *Antioxidant Intake and Risk of Incident Age-related Nuclear Cataracts In the Beaver Dam Eye Study.* American Journal of Epidemiology [online]. Vol. 149, 1999, No. 9, pp. 801-809.
- [33] DELCOURT, Ce'cile. *Plasma Lutein and Zeaxanthin and Other Carotenoids as Modifiable Risk Factors for Age-Related Maculopathy and Cataract: The POLA Study.* Investigative Ophthalmology & Visual Science [online]. Vol. 47, 2006, No. 6, pp. 2329-2335, ISSN 1552-5783.
- [34] MOELLER, Suzen M. *Associations Between Age-Related Nuclear Cataract and Lutein and Zeaxanthin in the Diet and Serum in the Carotenoids in the Age-Related Eye Disease Study (CAREDS), an Ancillary Study of the Women's Health Initiative.* Archives of Ophthalmology [online]. Vol. 126, 2008, No. 3, pp. 354-364, ISSN 0003-9950.
- [35] CHEW, Emily Y. *Lutein/Zeaxanthin for the Treatment of Age-Related Cataract.* JAMA Ophthalmology [online]. Vol. 131, 2013, No. 7, pp. 843-850, ISSN 2168-6165.

- [36] KANG, Jae H. WU, Juan. CHO, Eunyoung. *Contribution of the Nurses' Health Study to the Epidemiology of Cataract, Age-Related Macular Degeneration, and Glaucoma*. American Journal of Public Health [online]. Vol. 106, 2016, No. 9, pp. 1684-1689, ISSN 0090-0036.
- [37] WEIKEL, Karen A. GARBER, Caren. BABURINS, Allyssa. TAYLOR, Allen. *Nutritional modulation of cataract*. Nutrition Reviews [online]. Vol. 72, 2014, No. 1, pp. 30-47, ISSN 00296643.
- [38] MORGAN, Gary. *Nature's Role of Macular Pigment to Attenuate Blue Light* [online]. © 2017 [cit. 2017-10-24]. Dostupné z: <https://www.optometricmanagement.com/newsletters/nutritional-insights-for-clinical-practice/july-2017>
- [39] LUJAN, Brandon J. ROORDA Austin. KNIGHTON, Robert. CARROLL, Joseph. *Revealing Henle's Fiber Layer Using Spectral Domain Optical Coherence Tomography*. Investigative Ophthalmology & Visual Science [online]. Vol. 52, 2011, No. 3, pp. 1486-1492, ISSN 1552-5783.
- [40] KOLB, Helga. *Simple Anatomy of the retina* [online]. Webvision © 2011 [cit. 2017-10-24]. Dostupné z: <http://webvision.med.utah.edu/book/part-i-foundations/simple-anatomy-of-the-retina/>
- [41] Haidinger's brush. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-10-25]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Haidinger%27s_brush
- [42] REARDON, Joseph W. *Luteína y zeaxantina. ¿en qué alimentos conseguirlos?* [online]. North Carolina Department of Agriculture and Consumer Services © 2017 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.ncagr.gov/fooddrug/espanol/documents/LuteinayZeaxanthina.pdf>
- [43] BROEKMANS, Wendy. *Macular pigment density in relation to serum and adipose tissue concentrations of lutein and serum concentrations of zeaxanthin*. *The American Journal of Clinical Nutrition* [online]. Vol. 76, 2002, No. 3, pp. 595-603.

[44] ROBERTS, Joan E. Ultraviolet Radiation as a Risk Factor for Cataract and Macular Degeneration. *Eye & Contact Lens: Science & Clinical Practice* [online]. Vol. 37, 2011, No. 4, pp. 246-249, ISSN 1542-2321.

Zoznam použitých obrázkov:

Obrázok č. 1 – Chemická štruktúra karotenoidov – zeaxantín, meso-zeaxantín, luteín. [2]

Obrázok č. 2 – Histologický rez fovei zobrazujúci umiestnenie Henleho vrstvy. [39]

Obrázok č. 3 – Distribúcia makulárneho pigmentu. [38]

Obrázok č. 4 – Elektromagnetické spektrum. [9]

Obrázok č. 5 – Filtrácia modrého žiarenia za pomoci makulárneho pigmentu. [38]

Obrázok č. 6 – Vrchol absorpcie zrakových pigmentov luteínu a zeaxantínu. [2]

Obrázok č. 7 – Haidingerov snop. [41]

Zoznam použitých tabuliek:

Tabuľka č. 1 – Obsah luteínu v rôznych druhoch ovocia či zeleniny. [6]

Zoznam použitých grafov:

Graf č. 1 – Meranie hladiny makulárnych karotenoidov Ramanovov spektroskopiou. [6]