

CO NA TO VĚDA: Role fotobiomodulace u očních onemocnění a regenerace zraku

Poruchy zraku a slepota představují závažnou globální výzvu, která zasahuje do života nejméně 2,2 miliardy lidí, přičemž minimálně u jedné miliardy je jedná o poškození zraku, kterému se dalo předejít nebo jej lze stále účinně řešit. Spektrum etiologických příčin sahá od refrakčních vad a šedého zákalu (katarakty) přes diabetickou retinopatii a glaukom až po věkem podmíněnou makulární degeneraci či presbyopii. Zatímco v rozvojových oblastech převládá nekorigovaná katarakta a vrozené vady u dětí, ve vyspělých zemích dominují chronická ochromení sítnice a zelený zákal. Dopady ztráty zraku prostupují všemi fázemi života: u dětí vedou k opoždění motorického i kognitivního vývoje, u dospělých zvyšují míru nezaměstnanosti a úzkostí a u seniorů přispívají k sociální izolaci a riziku úrazů. Mimo osobní rovinu generují tyto zdravotní stavy obrovskou socioekonomickou zátěž, reprezentovanou roční ztrátou globální produktivity ve výši přibližně 411 miliard USD [1].

Oční onemocnění představují pro veřejnost jednu z nejvíce obávaných forem zdravotního postižení [2], neboť sebou nesou vysoké riziko pádů, úrazů, vážných zlomenin, depresí či ztráty samostatnosti, což v konečném důsledku vede k potřebě dlouhodobé péče a k výraznému poklesu kvality života (QoL) [3-9].

Vliv světelné terapie na sítnici: Jak fotobiomodulace mění přístup k léčbě očních onemocnění

O léčebných účincích světelné terapie (fototerapie) se ví již dlouhou dobu. Tato metoda fototerapie spočívá v aplikaci slunečního záření nebo uměle vytvářeného světla o specifických vlnových délkách na konkrétní část těla. Bylo prokázáno, že fototerapie pomáhá při léčbě různých zdravotních potíží, včetně zánětlivých a infekčních onemocnění, očních vad či poruch a sezónní afektivní poruchy [10]. Z hlediska terapeutického využití hraje klíčovou roli červené světlo, v moderní medicíně se využívá v podobě nízkourovňové laserové terapie (LLLT) nebo fotobiomodulace (PBM). Červené světlo se vyznačuje delšími vlnovými délkami a nižší frekvencí [11]. Při fotobiomodulaci se využívají vlnové délky v rozmezí od vzdálené červené až po infračervenou oblast. K emisi záření o vlnové délce přibližně 600 až 1000 nm se používají lasery nebo světelné diody (LED). Díky delší vlnové délce dokáže toto záření pronikat hlouběji do tělesných tkání. Mezi současné způsoby využití systémů PBM patří podpora hojení ran prostřednictvím regenerace poškozených tkání, zlepšení stavu při srdečních potížích, zmírnění neurologické bolesti a obnova nervů po zranění [12].

PBM nachází v oftalmologii široké uplatnění. Vlnové délky vhodné pro tyto optické zákroky spadají do rozmezí od viditelného po blízké infračervené spektrum. Mezi vlnové délky běžně využívané při léčbě sítnice patří 630 nm (červené světlo) a 850 nm (blízká infračervená oblast) [13]. Konkrétní vlnová délka se však může lišit v závislosti na požadovaném terapeutickém účinku. Například vlnové délky v rozmezí 600–700 nm jsou účinné při cílení na povrchové vrstvy sítnice, zatímco vyšší vlnové délky (kolem 800 až 900 nm) dokážou proniknout hlouběji do očních tkání. Cílem působení světla na sítnici je příznivá stimulace buněčných procesů při onemocněních, jako jsou retinitis pigmentosa, věkem podmíněná makulární degenerace a diabetická retinopatie [14].

Světlo o specifických vlnových délkách cílí na různé buněčné procesy. V případě

fotobiomodulace (PBM) sítnice, využívající červené až blízké infračervené (NIR) světlo, jsou cílovými strukturami mitochondriální proteiny, konkrétně Cytochrom-c-oxidáza (CcO). Aktivace CcO spouští kaskádu biochemických dějů. Aktivovaná CcO zvyšuje produkci adenosintrifosfátu (ATP), který slouží jako zásobárna energie [15]. Zároveň podporuje odbourávání škodlivých forem reaktivního kyslíku v buňce a přispívá k antioxidační stabilitě. Výsledkem je návrat buněčných procesů do normálního stavu. Tato obnova se projevuje různými způsoby, například regulací genové exprese, modulací kalciové signalizace či aktivací transkripčních faktorů [16].

Lidské oko je uzpůsobeno k zachycování světla pomocí receptorů a k přeměně světelné energie na elektrické signály, které mozek následně zpracovává za účelem tvorby obrazu. Orgánem zodpovědným za tuto transformaci je sítnice. První fázi fototransdukce zajišťují fotoreceptory v sítnici, které převádějí světlo o určitých vlnových délkách na nervové signály [17]. Dopad světla spouští v mitochondriích buněk sítnice řadu biochemických reakcí za účasti četných enzymů a koenzymů, což vede ke vzniku nervových signálů směřujících do mozku. Signály z tyčinek a čípků oka jsou v mozku zpracovávány různými typy neuronů a projevují se formou akčních potenciálů v gangliích těchto buněk sítnice, jejichž axony se podílejí na tvorbě zrakového nervu [18]. Vzhledem k tomu, že funkce sítnice je zcela závislá na přesném přísunu světelné energie a jakékoli narušení tohoto přísunu souvisí s poškozením mitochondrií, představuje sítnice potenciální terapeutický cíl pro fotobiomodulaci [19].

Když světlo uzdravuje oči: Příslib fotobiomodulační terapie (PBMT)

Také u očních onemocnění byl široce zkoumán terapeutický účinek PBM, preklinické studie prokázaly, že tato terapie má potenciál bránit buněčné smrti, snižovat hladinu reaktivních forem kyslíku a dusíku a podporovat vyváženou imunitní reakci buněk sítnice na fyzické či biochemické poškození [20]. Výsledky studií „in vivo“ ukázaly, že PBMT účinně snižuje oxidační stres, změny spojené se stárnutím a retinopatii v sítnici. Na molekulární úrovni dochází k modulaci genů a proteinů podílejících se na vzniku zánětlivé reakce, což vede ke snížení produkce mediátorů, jako jsou například C2a a C3a [21].

Věkem podmíněná makulární degenerace

Věkem podmíněná makulární degenerace (VPMD) je oční onemocnění spojené s rozmazaným viděním, které souvisí s postupujícím věkem, představuje jednu z hlavních příčin ztráty zraku u starších osob. Makula v oku je zodpovědná za ostré vidění, avšak v průběhu času dochází k jejímu poškození. VPMD způsobuje pomalý rozpad a odumírání světločivných buněk sítnice. Tyto buňky jsou nezbytné pro centrální vidění a vnímání detailů [22].

S cílem zlepšit funkci makuly byla provedena řada klinických studií využívajících metodu PBM (fotobiomodulace). U pacientů s věkem podmíněnou makulární degenerací došlo při použití světelné terapie s vlnovou délkou v rozmezí 600 až 750 nm k významnému zlepšení zrakové ostrosti [23]. Rovněž se zpomalila progresse onemocnění. První studie využívající světlo s delší vlnovou délkou a polovodičovou laserovou diodu však byla provedena až v roce 2008. Výsledkem tohoto přístupu bylo zlepšení zrakové ostrosti. Došlo také ke zmírnění příznaků onemocnění, jako je krvácení do sítnice, výskyt drúz (drobné usazeniny z tuků, bílkovin nebo vápenaté usazeniny) a hromadění pigmentu. Studie neprokázala žádné vedlejší účinky fyzikální ani morfologické povahy. Výsledky studie představují silný důkaz podporující terapeutický potenciál PBM při léčbě časných i pokročilých stadií věkem podmíněné makulární degenerace. Zároveň poukazují na význam této metody, která nevyvolává vedlejší účinky [24]. Účinky fotobiomodulace v oblasti oftalmologie se intenzivně zkoumají, v minulosti již

proběhla celá řada klinických studií a neustále přibývají nové, jejichž výsledky ukazují velmi příznivý terapeutický potenciál [25-29].

Úřad FDA nedávno učinil významný krok v léčbě suché formy věkem podmíněné makulární degenerace (VPMD), když pro ni povolil využití inovativní světelné terapie zvané fotobiomodulace. Je však namístě uvést na pravou míru jeden detail z vašeho zadání: FDA tuto technologii zatím formálně neschválil (approved), nýbrž jí udělil povolení (authorized) na základě slibných raných dat o její bezpečnosti a funkčnosti. Tato neinvazivní metoda, která využívá specifické vlnové délky světla k ochraně buněk sítnice, přesto představuje pro pacienty obrovskou naději, neboť nevyžaduje dosud běžné a nepříjemné oční injekce [30].

Fotobiomodulace stimuluje Meibomovy žlázy, zlepšuje tvorbu mazu a snižuje příznaky suchých očí. Tato léčba zlepšuje slzný film a poskytuje dlouhodobou úlevu od suchosti, podráždění a nepohodlí, které jsou často spojeny se suchým okem [31].

Diabetický makulární edém

Diabetický makulární edém vzniká u pacientů s diabetem v důsledku nekontrolované hladiny cukru. Dochází při něm k nadměrnému hromadění tekutiny v extracelulárním prostoru sítnice, konkrétně v oblasti makuly. Poškození cév vede k narušení hemato-retinální bariéry a zvýšenému průtoku krve v makule, což má za následek zhoršení zraku [32]. PBM (fotobiomodulace) představuje významný způsob, jak cíleně působit proti oxidačnímu stresu a zánětlivým reakcím v sítnici. Výzkumná studie prokázala, že při vystavení buněk makuly sítnice působení PBM o vlnové délce 670 nm po dobu pěti týdnů došlo k výraznému snížení tloušťky fovey. Podobně i další studie využívající PBM vykázala významné snížení tloušťky centrální části sítnice, a to bez jakýchkoli vedlejších účinků [33,34].

Akutní poškození sítnice světlem

Fotoreceptory jsou uzpůsobeny k přijímání světelné energie a přenosu signálu do dalších struktur. Světelné vlny s kratší vlnovou délkou však mohou být pro oči škodlivé a mohou způsobit poškození či dokonce zánik fotoreceptorů. Důsledkem je rovněž ovlivnění Müllerových buněk a cévních kapilár [35]. Jiná studie prokázala, že působení světla o kratší vlnové délce 670 nm (v oblasti červeného světla) na buňky sítnice vede k potlačení zánětlivých procesů a snížení infiltrace mikrogliemi a makrofágy. Výsledky rovněž naznačily pokles míry zániku fotoreceptorů. Podobně i další výzkum [36] zaměřený na fotobiomodulaci (PBM) ukázal, že při ozáření buněk sítnice světlem o vlnových délkách 670 nm a 810 nm dochází k výraznému zvýšení energetického metabolismu mitochondrií a produkce ATP. Vzhledem k tomu, že v této studii byly využity myší modely s poškozením vyvolaným světlem, výsledky prokázaly, že terapie červeným světlem dokáže zvrátit poškození způsobené modrým světlem. PBM může rovněž podporovat buněčný metabolismus a procesy tvorby energie v buňkách [37].

Zmírnění zánětu očí

Zánět očí může mít řadu příčin, včetně infekcí a autoimunitních onemocnění. Fotobiomodulace potlačuje zánět na buněčné úrovni, čímž zmírňuje příznaky, jako je zarudnutí, bolest a otok, a podporuje rychlejší zotavení ze zánětlivých stavů [26].

Fotobiomodulace a Müllerovy buňky

Ne všechny vlnové délky světla mají ochranný účinek. Světlo s kratšími vlnovými délkami, jako je například modré světlo, může způsobit poškození očí, zejména buněk sítnice. Byla provedena studie na potkaních s modelem degenerace

sítnice vyvolané světlem. Cílem studie bylo posoudit vliv světelných paprsků s delší vlnovou délkou na regeneraci sítnice. Bylo použito světlo o vlnové délce 670 nm. Tato léčba má jednoznačně pozitivní účinek na Müllerovy buňky v sítnici. Mezi zjevné prospěšné změny pozorované u Müllerových buněk patřilo lepší zachování buněčných struktur, výrazné snížení stresu a potlačení gliózy. Dalším významným zjištěním studie byl vyrovnaný metabolický stav Müllerových buněk, neboť tyto buňky nepřetržitě produkovaly enzym glutaminyntetázu. Müllerovy buňky navíc hrají klíčovou roli při omezování zánětlivých změn. Zánět vyvolává imunitní reakce buněk, které následně spouštějí progresi onemocnění. Potlačení zánětu tak představuje způsob, jak zpomalit či zastavit postup choroby. Dalším důležitým aspektem týkajícím se Müllerových buněk je jejich podíl na snížení aktivace oxidu dusnatého (NO). Předběžná léčba metodou PBM při vlnové délce 670 nm pomáhá snižovat produkci faktoru nekrózy nádorů (TNF), což následně vede k omezení tvorby enzymu produkujícího NO a celkovému poklesu hladiny reaktivních forem NO [38-40].

Závěr:

Fotobiomodulace (PBM) je neinvazivní terapeutická metoda využívající červené a blízké infračervené světlo ke stimulaci buněčné obnovy, potlačení zánětlivých procesů a podpoře regenerace tkání. Její mechanismus účinku spočívá především v aktivaci mitochondrií, čímž dochází k efektivnější tvorbě buněčné energie (ATP) a ke snížení oxidačního stresu. Díky tomuto biostimulačnímu efektu nachází uplatnění nejen při obnově a hojení mozkové tkáně, například při mírnění postkomočních příznaků, ale také v péči o centrální nervovou soustavu a zrakový aparát.

V oblasti oftalmologie představuje PBM bezpečnou alternativu či doplněk ke konvenčním postupům, neboť nevyžaduje chirurgický zásah ani farmakoterapii a vykazuje minimální vedlejší účinky. Významný léčebný potenciál prokazuje zejména u chronických stavů, jako je syndrom suchého oka či věkem podmíněná makulární degenerace (AMD). U AMD dokáže PBM cílenou stimulací buněk sítnice účinně zpomalovat progresi onemocnění, a přispívat tak k dlouhodobému zachování zrakových funkcí i celkové kvality života pacientů.

Možnost aplikace fotobiomodulační terapie na regeneraci zraku v pohodlí domova přináší nenahraditelnou svobodu a výrazné snížení každodenní zátěže. Pravidelné ošetření očí nevyžaduje žádné náročné cestování, čekání v ambulancích ani složitou přípravu, což ocení zejména lidé se zhoršeným viděním, pro které bývá doprava na kliniku stresující a organizačně komplikovaná. Aplikace světelné terapie se v domácím prostředí stává příjemným, uklidňujícím rituálem, který lze snadno začlenit například do ranní či večerní relaxace. Tato snadná dostupnost a bezstresový průběh výrazně zvyšují ochotu k pravidelnému užívání, které je pro dosažení a udržení optimálních výsledků při péči o zrak zcela klíčové.

Zdroje:

1. WHO. Blindness and vision impairment. 2026. Zdroj: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
2. Scott AW, Bressler NM, Ffolkes S, Wittenborn JS, Jorkasky J. Public attitudes about eye and vision health. JAMA Ophthalmol. 2016;134(10):1111-1118. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27490785/>
3. Stevenson M, Hart P, Montgomery A, McCulloch D, Chakravarthy U. Reduced vision in older adults with age related macular degeneration interferes with ability to care for self and impairs role as carer. Br J Ophthalmol. 2004;88(9): 1125-1130. KANDELET AL. independence in a Chinese population. JAMA

Ophthalmol. 2016;134(10):1087-1093. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15317701/>

4. Lamoureux E, Gadgil S, Pesudovs K, et al. The relationship between visual function, duration and main causes of vision loss and falls in older people with low vision. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2010;248(4):527-533. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20054556/>

5. Wysong A, Lee PP, Sloan FA. Longitudinal incidence of adverse outcomes of age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol.* 2009;127(3):320-327. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19273797/>

6. Slakter JS, Stur M. Quality of life in patients with age-related macular degeneration: impact of the condition and benefits of treatment. *Surv Ophthalmol.* 2005;50(3):263-273. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15850815/>

7. Rovner BW, Casten RJ, Tasman WS. Effect of depression on vision function in age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol.* 2002;120(8):1041-1044. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12149057/>

8. Finger RP, Fenwick E, Marella M, Dirani M, Holz FG, Chiang PP, Lamoureux EL. The impact of vision impairment on vision-specific quality of life in Germany. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011 Jun 1;52(6):3613-9. doi: 10.1167/iovs.10-7127. PMID: 21357395. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21357395/>

9. Himal Kandel, Vuong Nguyen, Stefano Piermarocchi, Lala Ceklic, Kelvin Teo, et al.. Quality of life impact of eye diseases: a Save Sight Registries study. *Journal of Clinical & Experimental Ophthalmology,* 2022, 50 (4), pp.386-397. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35080803/>

10. Zhang CX, Lou Y, Chi J, et al. Considerations for the use of photobiomodulation in the treatment of retinal diseases. *Biomolecules.* 2022;12(12):1811. doi: 10.3390/biom12121811. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36551239/>

11. Siqueira RC. Photobiomodulation using light-emitting diode (LED) for treatment of retinal diseases. *Clin Ophthalmol.* 2024;18:215–225. doi: 10.2147/OPTH.S441962. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38283180/>

12. Yoon SR, Hong N, Lee MY, et al. Photobiomodulation with a 660-nanometer light-emitting diode promotes cell proliferation in astrocyte culture. *Cells.* 2021;10(7):1664. doi: 10.3390/cells10071664. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34359834/>

13. Siqueira RC, Belíssimo LM, Pinho TS, et al. Short-term results of photobiomodulation using light-emitting diode light of 670 nm in eyes with age-related macular degeneration. *Photobiomodul Photomed Laser Surg.* 2021;39(9):581–586. doi: 10.1089/photob.2021.0005. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34546108/>

14. Song X, Chen ZY, Li J, et al. Therapeutic efficacy and safety of intense pulsed light for meibomian gland dysfunction in patients with chronic ocular graft-versus-host disease. *Ocul Immunol Inflamm.* 2024;32(8):1599–1608. doi: 10.1080/09273948.2023.2266763. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37862586/>

15. Gopalakrishnan S, Mehrvar S, Maleki S, et al. Photobiomodulation preserves mitochondrial redox state and is retinoprotective in a rodent model of retinitis pigmentosa. *Sci Rep.* 2020;10(1):20382. doi: 10.1038/s41598-020-77290-w. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33230161/>

16. Chen RD, Lu JL, Dong JL, et al. Intense pulsed light therapy for ocular surface diseases. *Lasers Med Sci.* 2024;39(1):111. doi: 10.1007/s10103-024-04060-9. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38656565/>

17. Álvarez-Barrios A, Álvarez L, García M, et al. Antioxidant defenses in the

- human eye: a focus on metallothioneins. *Antioxidants*. 2021;10(1):89. doi: 10.3390/antiox10010089. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33440661/>
18. Cioffi CL. *Drug Delivery Challenges and Novel Therapeutic Approaches for Retinal Diseases*. Cham: Springer International Publishing; 2020. Introduction: overview of the human eye, mammalian retina, and the retinoid visual cycle; pp. 1–42. Zdroj: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-56619-7>
19. Barolet AC, Villarreal AM, Jfri A, et al. Low-intensity visible and near-infrared light-induced cell signaling pathways in the skin: a comprehensive review. *Photobiomodul Photomed Laser Surg*. 2023;41(4):147–166. doi: 10.1089/photob.2022.0127. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37074309/>
20. Lock JH, Irani NK, Newman NJ. Neuro-ophthalmic manifestations of mitochondrial disorders and their management. *Taiwan J Ophthalmol*. 2021;11(1):39–52. doi: 10.4103/tjo.tjo_68_20. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33767954/>
21. Muste JC, Russell MW, Singh RP. Photobiomodulation therapy for age-related macular degeneration and diabetic retinopathy: a review. *Clin Ophthalmol*. 2021;15:3709–3720. doi: 10.2147/OPTH.S272327. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34511875/>
22. Guymer RH, Campbell TG. Age-related macular degeneration. *Lancet*. 2023 Apr 29;401(10386):1459–1472. doi: 10.1016/S0140-6736(22)02609-5. Epub 2023 Mar 27. PMID: 36996856. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36996856/>
23. Fantaguzzi F, Tombolini B, Servillo A, et al. Shedding light on photobiomodulation therapy for age-related macular degeneration: a narrative review. *Ophthalmol Ther*. 2023;12(6):2903–2915. doi: 10.1007/s40123-023-00812-y. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37768527/>
24. Grewal MK, Sivapathasuntharam C, Chandra S, et al. A pilot study evaluating the effects of 670 nm photobiomodulation in healthy ageing and age-related macular degeneration. *J Clin Med*. 2020;9(4):1001. doi: 10.3390/jcm9041001. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32252424/>
25. Begum R, Powner MB, Hudson N, et al. Treatment with 670 nm light up regulates cytochrome C oxidase expression and reduces inflammation in an age-related macular degeneration model. *PLoS One*. 2013;8(2):e57828. doi: 10.1371/journal.pone.0057828. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23469078/>
26. Vyuzit i níže zavet.. 31. Kokkinopoulos I. 670 nm LED ameliorates inflammation in the CFH (-/-) mouse neural retina. *J Photochem Photobiol B*. 2013;122:24–31. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2013.03.003. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23584451/>
27. Ivandic BT, Ivandic T. Low-level laser therapy improves vision in patients with age-related macular degeneration. *Photomed Laser Surg*. 2008;26(3):241–245. doi: 10.1089/pho.2007.2132. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18588438/>
28. Merry G, Dotson R, Devenyi R, et al. Photobiomodulation as a new treatment for dry age related macular degeneration. results from the Toronto and oak ridge photobimodulation study in AMD (TORPA) Invest Ophthalmol & Vis Sci. 2012;53:2049. Zdroj: <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2352668>
29. Markowitz SN, Devenyi RG, Munk MR, et al. A double-masked, randomized, sham-controlled, single-center study with photobiomodulation for the treatment of dry age-related macular degeneration. *Retina*. 2020;40(8):1471–1482. doi: 10.1097/IAE.0000000000002632. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31404033/>
30. Mukamal, R. FDA Authorizes Light Therapy for Dry AMD. *American Academy of Ophthalmology*. 2025. Zdroj: <https://www.aao.org/eye-health/news/light-therapy-photobiomodulation-dry-amd-ga>

31. Markoulli, M., Chandramohan, N., & Papas, E. B. (2021). Photobiomodulation (low-level light therapy) and dry eye disease. *Clinical and Experimental Optometry*, 104(5), 561–566.. Zdroj: https://www.researchgate.net/publication/349678639_Photobiomodulation_low-level_light_therapy_and_dry_eye_disease
32. Zhang JF, Zhang JX, Zhang CY, et al. Diabetic macular edema: current understanding, molecular mechanisms and therapeutic implications. *Cells*. 2022;11(21):3362. doi: 10.3390/cells11213362. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36359761/>
33. Chauhan MZ, Rather PA, Samarah SM, et al. Current and novel therapeutic approaches for treatment of diabetic macular edema. *Cells*. 2022;11(12):1950. doi: 10.3390/cells11121950. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35741079/>
34. Jijing Li, Yue Wu, Yueye Wang, Ziwei Zhao, Fan Song, Mengying Lai, Mingguang He, Yanxian Chen, Photobiomodulation for diabetic macular edema: A systematic review and exploratory meta-analysis, *AJO International*, Volume 3, Issue 3, 2026, 100305, ISSN 2950-2535. Zdroj: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950253526000821>
35. Kokkinopoulos I, Colman A, Hogg C, et al. Age-related retinal inflammation is reduced by 670 nm light via increased mitochondrial membrane potential. *Neurobiol Aging*. 2013;34(2):602–609. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2012.04.014. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22595370/>
36. Williams K, Hammond C. High myopia and its risks. *Community Eye Health*. 2019;32(105):5–6. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31409941/>
37. Kokkinopoulos I, Colman A, Hogg C, Heckenlively J, Jeffery G. Age-related retinal inflammation is reduced by 670 nm light via increased mitochondrial membrane potential. *Neurobiol Aging*. 2013 Feb;34(2):602-9. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2012.04.014. Epub 2012 May 16. PMID: 22595370. Zdroj: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7738953/>
38. Yu DY, Cringle S, Valter K, et al. Photoreceptor death, trophic factor expression, retinal oxygen status, and photoreceptor function in the P23H rat. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2004;45(6):2013–2019. doi: 10.1167/iovs.03-0845. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15161870/>
39. Albarracin R, Valter K. 670 nm red light preconditioning supports Müller cell function: evidence from the white light-induced damage model in the rat retina. *Photochem Photobiol*. 2012 Nov-Dec;88(6):1418-27. doi: 10.1111/j.1751-1097.2012.01130.x. Epub 2012 Mar 28. PMID: 22372425. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22372425/>
40. Chichan H, Aldujaly IH, Michalakakis K, Kanal L. Photobiomodulation in ocular therapy: current status and future perspectives. *Int J Ophthalmol*. 2025 Feb 18;18(2):351-357. doi: 10.18240/ijo.2025.02.20. PMID: 39967973; PMCID: PMC11754031.

bloominds®

www.bloominds.cz

Rybná 1066/15, Staré Město, 110 00 Praha 1