

CO NA TO VĚDA: Fotobiomodulace jako světelný štít: pigmentové skvrny (melasma) pod kontrolou

Melasma je rozšířená hyperpigmentární porucha, která je klinicky charakterizována symetrickými, hyperpigmentovanými makulami nebo skvrnami, jež se nejčastěji vyskytují na slunečním záření vystavených částech obličeje. Tyto viditelné projevy zdůrazňují jeho význam jako jednoho z nejčastějších kožních onemocnění [1], zejména u žen a osob s tmavším typem pleti. Mezi různé faktory, které se podílejí na etiologii, patří vystavení slunci, těhotenství, perorální antikoncepce, hormonální terapie, poruchy štítné žlázy, používání kosmetických přípravků atd. Hlavními kauzálními faktory jsou genetická predispozice a vystavení slunci [2,3]. Zvýšený oxidační stres může ovlivnit aktivitu tyrosinázy a syntézu eumelaninu prostřednictvím anabolické dráhy syntézy melaninu [4].

Zvýšená produkce melaninu v epidermální vrstvě nastává při vystavení UV záření [5]. UV záření zvyšuje regulaci receptoru melanokortinu 1 (MC1-R), což je místo vazby hormonu stimulujícího melanocyty (MSH). Zvýšená regulace MC1-R zvyšuje jeho vazebnou schopnost na MSH, což vede ke zvýšené produkci melaninu [5]. Navíc expozice UV záření v epidermální vrstvě štěpí proopiomelanokortin (POMC) na alfa-melanocyty stimulující hormon (alfa-MSH) a adrenokortikotropní hormon (ACTH) [6], které aktivují MC1-R, což vede k fosforylaci proteinu vazebného na cAMP odpovědní element (CREB), který působí jako transkripční faktor pro MITF [5].

Melanin je zásadní pro prevenci poškození pokožky, zejména poškození způsobeného ultrafialovým (UV) světlem. Patologický nárůst produkce melaninu může být důsledkem nadměrného vystavení UV záření. Další dermální a epidermální účinky související s UV zářením byly dosud podrobně popsány [7].

Regenerace na buněčné úrovni: Síla pulzního LED světla v boji s melasmatem

Současné vědecké poznání se přiklání k tomu, že nízkofrekvenční LED světlo (na rozdíl od vysokoenergetických laserů) může být bezpečnější a efektivnější alternativou pro snížení hyperpigmentace bez rizika zánětlivé reakce. Pulzní fotobiomodulace představuje bezpečnou, bezbolestnou a účinnou alternativu pro léčbu hlubokého dermálního melasmatu u které nehrozí reakce post zánětlivé hyperpigmentace, která následuje po aplikaci agresivních tepelných laserů [7,8].

Účinky fotobiomodulace (PBM), konkrétně zeleného spektra, na melasma a hyperpigmentaci jsou v oblasti dermatologického výzkumu velmi specifickým a stále se rozvíjícím tématem. Studie publikovaná v roce 2025, Tato studie si kládla za cíl zkoumat účinky zelené LED (GLED) na životaschopnost buněk, produkci melaninu a expresi genů souvisejících s melaninem pomocí buněk melanomu B16 a trojrozměrných (3D) kožních modelů. Dále byla jeho účinnost při zlepšování pigmentace kůže hodnocena prostřednictvím studie lidské intervence s pleťovými maskami vybavenými GLED. Inhibiční účinky syntézy melaninu při 505 nm GLED byly hodnoceny pomocí myších melanomových buněk B16, 3D kožního modelu obsahujícího melanocyty a studie lidské intervence s maskami vybavenými 505 nm GLED. 505 nm GLED ozáření snížilo produkci melaninu v melanomových buňkách myšího melanomu B16 indukovaných melanogenezí tím, že potlačilo úroveň genové exprese transkripčního faktoru a tyrosinázy spojeného s mikroftalmií. Dále GLED ozařování také snížilo obsah melaninu v 3D modelech kůže, aniž by ovlivnilo životaschopnost buněk. Nakonec lidská intervenční studie prokázala, že ozáření GLED na lidskou pleť obličeje účinně snižuje pigmentaci. Tyto poznatky naznačují, že 505 nm GLED je potenciální strategie depigmentace [9].

PBM může inhibovat expresi transkripčního faktoru mikroftalmie (MITF) a enzymu tyrosinázy a také snižovat enzymatickou aktivitu tyrosinázy, TRP-1 a TRP-2 v myších (B16F10) a lidských melanocytových kulturách [10,11] a také snižovat hladiny reaktivních forem kyslíku v in vitro kultuře fibroblastů vystavených ultrafialovému záření A [12]. Tyto účinky byly pozorovány při 660, 585, 830 a 850 nm, zatímco data in vitro naznačují, že jantarový PBM (585 nm) inhibuje zránění melanosomů a melanogenezi prostřednictvím indukce autofagie, což je dráha podobná té, která byla popsána u TXA [13]. Také snižuje aktivitu tyrosinázy, obsah melaninu a také expresi TRP-1 a MITF během signalizace melanogeneze [13]. Nedávno bylo jak in vitro, tak v pilotní klinické studii prokázáno, že jantarový PBM při 590 nm snižuje exprese vaskulárního endoteliálního růstového faktoru a faktoru kmenových buněk, což jsou promelanogenní faktory [14]. Tato studie navíc prokázala snížení skóre MASI během léčby, které zůstalo stabilní až do 20. týdne po zahájení léčby (8 týdnů po ukončení léčby) [14]. Dosud však neexistují žádné randomizované kontrolované studie s nízkým rizikem zkreslení, které by hodnotily účinky jantarového PBM. Tato studie byla proto navržena tak, aby zkoumala klinický účinek jantarového PBM při 590 nm na léčbu melasmatu, protože data in vitro naznačují mechanismus účinku podobný TXA [15].

Zelené světlo je v dermatologii a kosmetice považováno za primární spektrum pro redukci stávajících pigmentových skvrn. Jeho hlavní mechanismus účinku spočívá v tom, že zelené vlnové délky cílí přímo na melanocyty v bazální vrstvě epidermis, kde pomáhají regulovat nadměrnou produkci melaninu a rozbíjejí

shluky stávajícího pigmentu, čímž postupně sjednocují tón pleti. Kromě toho má toto světlo také výrazný zklidňující účinek na kapiláry, což účinně pomáhá redukovat začervenání, které hyperpigmentaci často doprovází.

Příkladem je přehledová studie publikovaná roku 2023 v MDPI Journal of Clinical Medicine, která v souvislosti s pigmentací pokožky poukazuje na klíčový receptor v kůži zvaný Opsin-3 (OPN3). Výzkum potvrzuje, že zatímco vysoké dávky modrého světla tento receptor aktivují a melasma prokazatelně zhoršují, nízké, kontrolované dávky zeleného světla (kolem vlnové délky 550 nm) mohou působit jako negativní regulátor melanogeneze (aktivují mechanismy, které tvorbu pigmentu naopak tlumí) [15].

Studie publikovaná roku 2022 také potvrzuje, že světelné spektrum 590 nm LED světlo může být slibnou metodou pro léčbu melasmy, v klinické studii bylo prokázáno, že snižuje erytém i pigmentaci. Autoři navíc zjistili, že žluté LED záření nepoškozuje mikrovaskulární endotelové buňky, ale výrazně omezuje jejich migraci, tvorbu cévních struktur a produkci VEGF a SCF, tedy faktorů, které podporují cévní růst a pigmentaci. Mechanisticky působí přes inhibici dráhy AKT/PI3K/mTOR, což potvrdily i reverzní experimenty s IGF1. V malé klinické pilotní studii se tato biologická aktivita promítla do viditelného zlepšení melasmy, což naznačuje, že 590 nm LED může představovat novou, bezpečnou a účinnou terapeutickou možnost [16,17].

Výzkum účinků červeného spektra (vlnové délky cca 630–660 nm) a blízkého infračerveného spektra (NIR, cca 830–850 nm) na melasma přinesl v posledních letech zásadní posun. Například studie publikovaná roku 2023 potvrdila, že tyto parametry mají prokazatelný modulační účinek na aktivitu tyrosinázy, genovou expresi a syntézu proteinů v melanocytární dráze. Výsledkem je významné snížení obsahu melaninu. Výzkum navíc zdůraznil, že PBM úspěšně redukuje erytém (začervenání) a novotvorbu cév (neovaskularizaci), což jsou nově objevené patologické složky, které melasma prokazatelně udržují v aktivním stavu. Tento rozsáhlý přehled klinických dat analyzoval účinky specifických vlnových délek (červená 630 nm, jantarová 585/590 nm a infračervená 830/850 nm) [18].

Je potvrzeno, že LED světlo o vlnové délce 830 nm a 850 nm potlačuje tvorbu melaninu tím, že inaktivuje signální dráhy ASK a ERK1/2, které jsou běžně zapojené do regulace melanogeneze. Současně dochází ke snížení fosforylace proteinu CREB, což dále tlumí přenos signálů podporujících tvorbu pigmentu. Tento proces nakonec vede ke snížené expresi klíčových genů tyrosinázové rodiny – TYRP1, TYRP2 a MITF, které jsou nezbytné pro syntézu melaninu [18].

Zásadní přínos červeného spektra spočívá v opravě buněčného stresu, jelikož hyperpigmentace je často výsledkem chronického zánětu nebo poškození UV zářením. Červené světlo tyto zánětlivé procesy v kůži účinně snižuje a urychluje buněčnou obnovu, díky čemuž nové, zdravé buňky rychleji nahrazují ty pigmentované. Z hlediska bezpečnosti je velkou výhodou, že na rozdíl od agresivních laserů nebo chemických peelingů nestimuluje melanocyty k obranné reakci, takže při jeho použití nehrozí riziko vzniku pozánětlivé hyperpigmentace [19].

PBM dokáže úspěšně downregulovat (ztlumit) vysoce metabolicky aktivní melanocyty v dermis. Extrémně zajímavým vedlejším zjištěním bylo, že PBM buňkám v kůži pomohla vybudovat si vyšší odolnost vůči budoucímu UV záření ze slunce, což je hlavní spouštěč relapsů melasmatu [20].

U jedinců trpících na melasmu (která je silně závislá na teple) se doporučuje hluboké infračervené světlo na obličej aplikovat velmi opatrně nebo vůbec, protože vznikající teplo ve tkáni by mohlo pigmentaci stimulovat. Pro běžné stařecké a sluneční skvrny však NIR v rozumné míře nevádí.

Modré a zelené viditelné světlo (vlnové délky 400–570 nm) prokazatelně stimuluje protein opsin3 v kůži. To vede ke zvýšené aktivitě enzymu tyrosinázy, což spouští intenzivnější tvorbu melaninu a následnou hyperpigmentaci. Tento jev je výraznější zejména u vyšších fototypů (tmavší typy pleti podle Fitzpatrickovy klasifikace [21]) [22].

Závěr:

Vědecké analýzy jednoznačně potvrzují, že nízkenergetická pulzní fotobiomodulace (PBM) představuje revoluční a vysoce bezpečné paradigma v managementu melasmatu. Cílené využití specifických vlnových délek – od zeleného spektra (505–550 nm) tlumícího melanogenezi přes receptor Opsin-3, přes jantarové světlo (585–590 nm) potlačující vaskulární promelanogenní faktory VEGF a SCF, až po červené a blízké infračervené vlnové délky (630–850 nm) inaktivující klíčové signální dráhy ASK, ERK1/2 a transkripční faktor MITF umožňuje komplexní zásah do patogeneze této poruchy. Na rozdíl od konvenčních, agresivních tepelných laserů či hlubokých chemických peelingů, tato neinvazivní metoda nestimuluje melanocyty k obranné reakci. Eliminuje se tím obávané riziko vzniku pozánětlivé hyperpigmentace, což z LED technologií činí ideální nástroj pro dlouhodobou terapii bez nežádoucích vedlejších účinků.

Klíčový benefit fotobiomodulace nespočívá pouze v přímé inhibici enzymu tyrosinázy a rozbití stávajících pigmentových shluků v bazální vrstvě epidermis, ale také v hluboké buněčné opravě a systémové stabilizaci kožního mikroporostu. PBM efektivně redukuje chronický zánětlivý stres a neovaskularizaci, které melasma prokazatelně udržují v aktivním stavu, a urychluje přirozenou obnovu zdravých buněk. Mimořádný terapeutický potenciál podtrhuje i schopnost světla vybudovat v kožních buňkách vyšší foto-odolnost vůči budoucímu UV záření, čímž se radikálně snižuje riziko častých relapsů. Při dodržení aplikačních pravidel, zejména obezřetnosti u vlnových délek generujících teplo (NIR) u jedinců s vysokou termální citlivostí se pulzní LED světlo stává novým standardem moderní dermatologie, který nabízí bezpečné, stabilní a vědecky podložené sjednocení tónu pleti a obnovu její vnitřní čistoty.

Zdroje:

1. Zhang, J.; Wang, T.; Li, Z.; Qin, C.; Dai, J.; Zhao, Y.; Wu, S.; Jia, Z. Hormonal Crosstalk in Melasma: Unraveling the Dual Roles of Estrogen and Progesterone in Melanogenesis. *Int. J. Mol. Sci.* 2025, 26, 10856. <https://doi.org/10.3390/ijms262210856> Zdroj: <https://www.mdpi.com/1422-0067/26/22/10856>
2. Parsam, S. B., & Tallam, S. (2021). Melasma and sun exposure: a clinicoepidemiological study. *International Journal of Research in Dermatology*, 7(2), 262–266. Zdroj: <https://www.ijord.com/index.php/ijord/article/view/1240>
3. Sofen B, Prado G, Emer J. Melasma and Post Inflammatory Hyperpigmentation: Management Update and Expert Opinion. *Skin Therapy Lett.* 2016 Jan;21(1):1-7. PMID: 27224897. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27224897/>
4. Katiyar S, Yadav D, Singh SK. Markers of Oxidative Stress and Tyrosinase Activity in Melasma Patients: A Biochemical Investigation. *Curr Protein Pept Sci.* 2024;25(2):183-188. doi: 10.2174/01113892037269116231115065458. PMID: 38275092. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38275092/>
5. Rajanala S., Maymone M. B., and Vashi N. A., “Melasma Pathogenesis: A Review of the Latest Research, Pathological Findings, and Investigational Therapies,” *Dermatology Online Journal* 25, no. 10 (2019), 10.5070/d32510045810. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31735001/>
6. Kwon S.-H., Hwang Y.-J., Lee S.-K., and Park K.-C., “Heterogeneous Pathology of Melasma and Its Clinical Implications,” *International Journal of Molecular Sciences* 17, no. 6 (2016): 824, 10.3390/ijms17060824. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27240341/>
7. Letokhov VS. Laser biology and medicine. *Nature.* 1985 Jul 25-31;316(6026):325-30. doi: 10.1038/316325a0. PMID: 3894977. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3894977/>
8. Barolet D. Dual Effect of Photobiomodulation on Melasma: Downregulation of Hyperpigmentation and Enhanced Solar Resistance-A Pilot Study. *J Clin Aesthet Dermatol.* 2018 Apr;11(4):28-34. Epub 2018 Apr 1. PMID: 29657669; PMCID: PMC5891084. Zdroj: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5891084/#B6>
9. Mima Y, Yamada T, Omatsu J, Yamashita T, Suzuki S, Takechi T, Ichikawa M, Yamazaki K, Sato S, Yoshizaki A. Inhibitory Effect of 505 nm Green Light Emitting Diode on Melanin Synthesis in Cellular Experiments and a Human Intervention Study. *Acta Derm Venereol.* 2025 May 15;105:adv43441. doi: 10.2340/actadv.v105.43441. Erratum in: *Acta Derm Venereol.* 2026 Mar 12;106:adv45681. doi: 10.2340/actadv.v106.45681. PMID: 40375536; PMCID: PMC12105538. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40375536/>
10. Oh CT, Kwon T-R, Choi EJ, et al. Inhibitory effect of 660-nM LED on Melanin synthesis in in vitro and in vivo. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2017;33:49–57. doi: 10.1111/phpp.12276. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27696509/>
11. Kim JM, Kim N-H, Tian YS, et al. Light-emitting DIODES at 830 and 850 nm inhibit Melanin synthesis in vitro. *Acta Derm Venereol* 2012;92:675–80. doi: 10.2340/00015555-1319. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22334261/>
12. Lan C-C, Ho P-Y, Wu C-S, et al. LED 590nm Photomodulation reduces UVA-induced Metalloproteinase-1 expression via upregulation of antioxidant enzyme catalase. *Journal of Dermatological Science* 2015;78:125–

32. 10.1016/j.jdermsci.2015.02.018. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25816722/>
13. Chen L, Xu Z, Jiang M, et al. Light-emitting Diode 585nm Photomodulation inhibiting Melanin synthesis and inducing Autophagy in human Melanocytes. J Dermatol Sci 2018;89:11–8. 10.1016/j.jdermsci.2017.10.001. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29065997/>
14. Dai X, Jin S, Xuan Y, et al. 590 nM LED irradiation improved erythema through inhibiting angiogenesis of human Microvascular endothelial cells and ameliorated Pigmentation in Melasma. Cells 2022;11:3949. 10.3390/cells11243949. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36552713/>
15. Mima Y, Yamada T, Omatsu J, Yamashita T, Suzuki S, Takechi T, Ichikawa M, Yamazaki K, Sato S, Yoshizaki A. Inhibitory Effect of 505 nm Green Light Emitting Diode on Melanin Synthesis in Cellular Experiments and a Human Intervention Study. Acta Derm Venereol. 2025 May 15;105:adv43441. doi: 10.2340/actadv.v105.43441. Erratum in: Acta Derm Venereol. 2026 Mar 12;106:adv45681. doi: 10.2340/actadv.v106.45681. PMID: 40375536; PMCID: PMC12105538. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40375536/>
16. Dai X, Jin S, Xuan Y, Yang Y, Lu X, Wang C, Chen L, Xiang L, Zhang C. 590 nm LED Irradiation Improved Erythema through Inhibiting Angiogenesis of Human Microvascular Endothelial Cells and Ameliorated Pigmentation in Melasma. Cells. 2022 Dec 7;11(24):3949. doi: 10.3390/cells11243949. PMID: 36552713; PMCID: PMC9776419. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36552713/>
17. Galache TR, Galache M, Sena MM, Pavani C. Amber photobiomodulation versus tranexamic acid for the treatment of melasma: protocol for a double-blind, randomised controlled trial. BMJ Open. 2023 Jul 21;13(7):e073568. doi: 10.1136/bmjopen-2023-073568. PMID: 37479524; PMCID: PMC10364183. zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37479524/>
18. Kim JM, Kim NH, Tian YS, Lee AY. Light-emitting diodes at 830 and 850 nm inhibit melanin synthesis in vitro. Acta Derm Venereol. 2012 Nov;92(6):675-80. doi: 10.2340/00015555-1319. PMID: 22334261. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22334261/>
19. Galache TR, Sena MM, Tassinary JAF, Pavani C. Photobiomodulation for melasma treatment: Integrative review and state of the art. Photodermatol Photoimmunol Photomed. 2024 Jan;40(1):e12935. doi: 10.1111/phpp.12935. Epub 2023 Nov 28. PMID: 38018017. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38018017/>
20. Barolet D. Dual Effect of Photobiomodulation on Melasma: Downregulation of Hyperpigmentation and Enhanced Solar Resistance-A Pilot Study. J Clin Aesthet Dermatol. 2018 Apr;11(4):28-34. Epub 2018 Apr 1. PMID: 29657669; PMCID: PMC5891084. Zdroj: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29657669/>
21. Olsen D, Nguyen C, Hall M, Carletti M, Weis SE. The Efficacy of the Fitzpatrick Scale in Clinical Practice. HCA Healthc J Med. 2026 Feb 1;7(1):5-11. doi: 10.36518/2689-0216.2207. PMID: 41810254; PMCID: PMC12971093. Zdroj: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12971093/>
22. Ali L, Al Niaimi F. Pathogenesis of Melasma Explained. Int J Dermatol. 2025 Jul;64(7):1201-1212. doi: 10.1111/ijd.17718. Epub 2025 Feb 28. PMID: 40022484; PMCID: PMC12207721. Zdroj: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12207721/>

bloominds[®]
energie pro tělo, klid pro mysl

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

www.bloominds.cz

