

Possibilities and limitations of using various light sources in the treatment of acne vulgaris

Możliwości i ograniczenia zastosowania różnych źródeł światła w leczeniu trądziku

Natalia Ewa Brzezińska, Gustaw Roter, Aneta Szczerkowska-Dobosz

Department of Dermatology, Venereology and Allergology, Faculty of Medicine, Medical University of Gdansk, Gdansk, Poland

Katedra i Klinika Dermatologii, Wenerologii i Alergologii, Wydział Lekarski, Gdański Uniwersytet Medyczny, Gdańsk, Polska

Dermatol Rev/Przeł Dermatol 2023, 110, 1–12

DOI: <https://doi.org/10.5114/dr.2023.138938>

ABSTRACT

**CORRESPONDING AUTHOR/
ADRES DO KORESPONDENCJI:**
Natalia Ewa Brzezińska
Katedra i Klinika Dermatologii,
Wenerologii i Alergologii
Wydział Lekarski
Gdański Uniwersytet Medyczny
Gdańsk, Polska
tel.: +48 608 484 868
e-mail: nataliabrzezinska@gumed.edu.pl

Acne vulgaris is a chronic inflammatory skin condition with a high global prevalence. Light-based therapies can be used in acne treatment on account of their good safety profile, lack of potential for developing resistance, and mechanism of action. Despite variations in research methodologies and diverse findings among researchers, numerous clinical studies have shown a statistically significant improvement in the skin condition of acne patients treated with light. In the majority of studies, the follow-up period is comparatively short, preventing the evaluation of long-term effects of therapy. This paper examines the literature on the effects of various light therapies (based on LED devices, photodynamic therapy, intense pulsed light, and laser therapy), on the clinical signs of acne.

Key words: lasers, light, phototherapy, acne vulgaris.

STRESZCZENIE

Trądzik zwyczajny (*acne vulgaris*) jest przewlekłą dermatozą zapalną, szeroko rozpowszechnioną na świecie. Metody z zakresu światłolecznictwa mogą być stosowane w leczeniu trądziku ze względu na wysoki profil bezpieczeństwa, niewytwarzanie oporności oraz mechanizm działania. Wiele badań klinicznych wykazuje statystycznie istotną poprawę stanu skóry pacjentów z trądzikiem, mimo różnej metodologii badań i dużych rozbieżności wyników badań autorów. W większości prac czas obserwacji jest stosunkowo krótki, co uniemożliwia ocenę odległych skutków terapii. W artykule dokonano analizy piśmiennictwa dotyczącego wpływu różnych metod światłolecznictwa [światło emitowane przez urządzenia LED (*light emitting diode*), terapia fotodynamiczna, intensywne światło pulsacyjne oraz lasery] na objawy kliniczne trądziku.

Słowa kluczowe: laser, światło, światłolecznictwo, trądzik.

INTRODUCTION

Acne vulgaris is a chronic inflammatory condition involving pilosebaceous units, characterized by

WPROWADZENIE

Trądzik pospolity jest przewlekłą chorobą zapalną jednostki włosowo-łojowej o złożonej patogenezie.

a complex pathogenesis. The primary factors contributing to the formation of acne lesions include seborrhea, hyperkeratosis of follicular openings resulting in the formation of keratotic plugs (comedogenesis), colonization of sebaceous glands by *Cutibacterium acnes*, and inflammation [1]. Acne treatment can be challenging due to the complex etiology of the disease, rising antibiotic resistance, and their potential for adverse drug reactions. Lately, there has been a growing interest in the experimental treatment of acne with light, based on the efficacy and high level of safety associated with this therapeutic modality [2]. Phototherapy can be used either alone or in conjunction with pharmacological treatment [3].

A broad spectrum of electromagnetic radiation can be used in the treatment of acne, including ultraviolet radiation (UV), visible light, and infrared radiation (IR). Light sources include lasers, halogen lamps, fluorescent lamps, and light emitting diodes (LED).

In response to light absorbed by chromophores present in the skin, numerous photochemical reactions occur, mainly resulting in bactericidal activity. Porphyrins produced by bacteria primarily absorb wavelengths within the blue light range. By using phototherapy with deeper-penetrating wavelengths (green, yellow, red, and infrared light), it is possible to directly target the sebaceous glands to induce a localized anti-inflammatory effect. The phototoxic effect on the sebaceous glands leads to a reduction in their size and decreases the secretion of sebum. Energy absorption by *Cutibacterium acnes* inhibits the synthesis of bacterial DNA and the production of compounds toxic to bacteria during the oxidation process. As a result, inflammation subsides and normal keratinization, disrupted by bacterial colonization, is restored [3].

LIGHT-EMITTING DIODE (LED)

LED is a complex of semiconductors with the capability to convert electric current into a non-coherent beam of light with a narrow spectrum. LEDs used for medical purposes can emit light across a range of wavelengths, spanning from ultraviolet, through visible light, to near-infrared (NIR). The biological effect is attained through the emission of photons that are absorbed by chromophores (also referred to as photoacceptors), including mitochondria or cell membranes. Photomodulatory effects on respiratory chain proteins lead to increased ATP production in fibroblasts, inhibition of apoptosis, stimulation of angiogenesis and blood flow, and modulatory activity on cytokines [4].

Blue light (400–500 nm) has low penetrability and can be employed for treating pathological processes within the epidermis. Yellow light (approximately

Do podstawowych czynników odpowiedzialnych za rozwój wykwitów należą: łojotok, nadmierne rogowacenie ujść mieszków włosowych prowadzące do utworzenia czopa rogowego (komedogeneza), kolonizacja gruczołów łojowych przez *Cutibacterium acnes* oraz stan zapalny [1]. Leczenie trądziku może stanowić wyzwanie ze względu na złożoną etiologię choroby, rosnącą antybiotykooporność oraz możliwość działań niepożądanych leków. Ostatnio obserwuje się wzrost zainteresowania eksperymentalnym leczeniem trądziku za pomocą światła z uwagi na skuteczność i wysoki profil bezpieczeństwa tego typu terapii [2]. Możliwe jest zastosowanie światłolecznictwa zarówno w monoterapii, jak i w połączeniu z leczeniem farmakologicznym [3].

W leczeniu trądziku zastosowanie ma szeroki zakres promieniowania elektromagnetycznego. Wykorzystuje się promieniowanie ultrafioletowe (*ultraviolet* – UV), światło widzialne oraz promieniowanie podczerwone (*infrared light* – IR). Źródłami światła mogą być lasery, lampy halogenowe, świetlówki i diody emitujące światło (LED).

Pod wpływem światła absorbowanego przez chromofory występujące w skórze zachodzą liczne reakcje fotochemiczne, których głównym efektem jest działanie bakteriobójcze. Porfiryny produkowane przez bakterie absorbują przede wszystkim długość fal w zakresie światła niebieskiego. Stosowanie fototerapii wykorzystującej fale o głębszej penetracji (światło zielone, żółte, czerwone oraz podczerwień) umożliwia docieranie bezpośrednio do gruczołów łojowych, gdzie uzyskuje się miejscowy efekt przeciwzapalny. Fototoksyczne oddziaływanie na gruczoły łojowe pozwala na zmniejszenie ich rozmiaru oraz ograniczenie wydzielania łoju. Absorpcja energii przez *Cutibacterium acnes* powoduje zahamowanie syntezy kwasu DNA bakterii oraz toksycznych dla bakterii związków wytwarzanych w procesie utleniania. Dzięki temu, poza zmniejszeniem stanu zapalnego, przywraca się prawidłową keratynizację zaburzoną poprzez bakteryjną kolonizację [3].

LIGHT-EMITTING DIODE (LED)

LED to kompleks półprzewodników, które mają zdolność do przekształcania prądu elektrycznego w niekoherentną, wąskospektralną wiązkę światła. LED-y wykorzystywane w medycynie mogą emitować światło o długości fali od ultrafioletu, przez światło widzialne do bliskiej podczerwieni (*near-infrared* – NIR). Efekt biologiczny uzyskiwany jest poprzez emisję fotonów, które są absorbowane przez chromofory (inaczej fotoakceptory), takie jak mitochondria lub błona komórkowa. Działanie fotomodulacyjne na białka łańcucha oddechowego skutkuje wzrostem produkcji ATP w fibroblastach, hamowaniem apoptozy, pobudzeniem angiogenezy i prze-

540 nm) is used for the treatment of red skin, edema or skin pigmentation disorders. Red light (620–700 nm) penetrates deeply into the dermis and activates fibroblasts, while monochromatic light (700–1200 nm) achieves the deepest penetration, stimulating the process of angiogenesis [4].

LED THERAPY IN THE TREATMENT OF ACNE VULGARIS

Blue light (400–500 nm)

Blue light is known to inhibit bacterial growth. Due to the effects of radiation, photodynamic reactions occur in endogenous chromophores, disrupting the integrity of pathogen cell membranes and transmembrane ion transport. As a result, the proliferation of *C. acnes* is constrained [5]. Because of the great challenge posed by growing antibiotic resistance, blue light phototherapy is increasingly becoming the treatment of choice, given its multidirectional antimicrobial activity and safety [5, 6]. In their 2015 study, Asha *et al.* used 414 nm blue light emitted from a LED device to assess its therapeutic efficacy in 41 patients with acne. Photographic documentation was done every two weeks over the course of 12 weeks. A 50.02% decrease in inflammatory lesions was observed in the study group (26 subjects), compared to a 2.5% improvement in the control group (15 subjects). No adverse effects or pain were reported [6]. In contrast, Tzung *et al.* in their study (involving two irradiation treatments per week, exposure to light at a wavelength of 420 nm at a dose of 40 J/cm², for a period of four weeks) observed an exacerbation of nodulocystic acne lesions despite an improvement in papulopustular lesions in 52% of the subjects [7]. In their randomized clinical trials, Arruda *et al.* and Cheema *et al.* compared blue light therapy with the topical application of benzoyl peroxide at concentrations of 5% and 4%. The outcomes of both studies showed blue light to have superior efficacy in reducing acne lesions, with fewer adverse effects [8]. There are literature reports of various blue light sources, including lasers and LEDs, employed for therapeutic purposes. In the study by Masson-Meyers *et al.*, both sources were found to have comparable efficacy [9].

Red light (620–700 nm)

Red light penetrates more deeply into the skin than blue light, restricting sebum production in the sebaceous glands. Moreover, red light has been observed to inhibit the release of prostaglandins E₂ (PGE₂). An *in vitro* study of red light therapy administered at low doses (0.2–1.2 J/cm²) found that the treatment can be effective in acne management

of blood flow, and also as a modulatory action on cytokines [4].

Światło niebieskie (400–500 nm) ma niską przenikliwość i jest stosowane w leczeniu procesów chorobowych w obrębie naskórka. Światło żółte (około 540 nm) ma zastosowanie w przypadku zaczerwienienia, obrzęku lub zaburzeń pigmentacji skóry. Światło czerwone (620–700 nm) penetruje głęboko, do skóry właściwej i aktywuje fibroblasty, natomiast światło monochromatyczne (700–1200 nm) przenika najgłębiej, pobudzając proces angiogenezy [4].

TERAPIA LED W LECZENIU TRĄDZIKU POSPOLITEGO

Światło niebieskie 400–500 nm

Światło niebieskie hamuje wzrost bakterii. Pod wpływem promieniowania w endogennych chromoforach zachodzą reakcje fotodynamiczne zaburzające integralność błon komórkowych patogenów oraz transport przez błonowy jonów, co ogranicza wzrost *C. acnes* [5]. Ze względu na duży problem, jakim okazuje się narastająca antybiotykooporność, jest to coraz częściej wybierana metoda, gdyż ma wielokierunkowe działanie przeciwdrobnoustrojowe oraz jest bezpieczna [5, 6]. W badaniu Asha i wsp. z 2015 roku zastosowano światło niebieskie o długości 414 nm emitowane z urządzenia LED w celu oceny jego skuteczności u 41 pacjentów chorujących na trądzik. Wykonywano dokumentację fotograficzną co 2 tygodnie przez 12 tygodni. W grupie badanej (26 osób) zaobserwowano redukcję zmian zapalnych o 50,02%, w porównaniu z poprawą o 2,5% w grupie kontrolnej (15 osób). Nie stwierdzono działań niepożądanych oraz pacjenci nie zgłaszali bólu [6]. Tzung i wsp. w badaniu (w którym stosowali 2 naświetlenia tygodniowo, światłem o długości 420 nm, w dawce 40 J/cm² przez 4 tygodnie) zaobserwowali zaostrzenie trądziku grudkowo-torbielowatego, mimo poprawy w przypadku zmian grudkowo-kroستkowych u 52% badanych [7]. W randomizowanych badaniach klinicznych Arruda i wsp. oraz Cheema i wsp. porównywano terapię światłem niebieskim z miejscowym stosowaniem nadtlenku benzoilu w stężeniach 5% i 4%. Wyniki obu badań wykazały lepszą skuteczność redukcji zmian trądzikowych, stosując światło niebieskie, przy mniejszej liczbie działań niepożądanych [8]. W piśmiennictwie są doniesienia o zastosowaniu różnych źródeł światła niebieskiego, takich jak laser lub LED-y, przy czym w badaniu opisanym przez Masson-Meyersa i wsp. obydwa źródła mają porównywalną skuteczność [9].

Światło czerwone (620–700 nm)

Penetruje głębiej niż światło niebieskie, ograniczając produkcję łoju w gruczołach łojowych. Po-

by reducing seborrhea, relieving inflammation, and improving the skin's natural barrier function [10]. In the study conducted in 2007 by Na and Suh, radiation in the range of 635-670 nm was applied to one half of the facial skin of the patients for a total of 15 minutes, twice daily, over an 8-week period. The cumulative dose at the conclusion of the study was 604.8 J/cm². The other half of the face was untreated. The mean reduction in inflammatory and non-inflammatory lesions on the treated side reached 55%. No significant adverse effects were reported [11]. In contrast, a study comparing the therapeutic effects of red light (630 nm at 48 mW/cm²) and blue light (405 nm at 30 mW/cm²) found blue light therapy to have superior efficacy in acne treatment [12].

PHOTODYNAMIC THERAPY

Photodynamic therapy (PDT) is based on a combination of visible light and a topical photosensitizing agent. The most commonly employed photosensitizing agent is 5-aminolevulinic acid (ALA), acting as a precursor to protoporphyrin IX, which is the actual photosensitive compound. Protoporphyrin IX releases reactive oxygen species, including singlet oxygen and free radicals, leading to the destruction of sebaceous gland cells and producing a direct toxic effect on *C. acnes*. ALA is rapidly eliminated from the body, which mitigates its harmful effects on healthy tissue. Adding a methyl group to ALA results in the formation of methyl aminolevulinate (MAL), which is characterized by increased lipophilicity. Because of this chemical property the photosensitizing compound selectively accumulates in the sebaceous glands, which minimizes its adverse effects in other skin structures [13, 14]. Other derivatives of porphyrins, chlorins and bacteriochlorins are also used as photosensitizers in PDT. The new class of photosensitizing agents includes indocyanine green and indole-3-acetic acids [15]. The optimal contact time between the photosensitizer and the skin is 15-90 minutes [16].

Calzavara-Pinton *et al.* used red light therapy (635 nm) at a dose of 37 J/cm² in combination with MAL. Over 75% of the 221 study subjects experienced an improvement in acne lesions, with an average reduction of 72.8% [17]. Bissonnette *et al.* compared two radiation doses (35 J/cm² and 27 J/cm²), demonstrating superior efficacy of the higher dose in the treatment of acne lesions [18]. Photodynamic therapy can also be performed with intense pulsed light (IPL). IPL is highly effective in PDT, with the average reduction in acne lesions of approximately 72%. The benefits are similar to red light therapy, but with IPL it takes longer to achieve the therapeutic effect. In clinical practice, low doses of radiation, in the range of 7-10 J/cm², are used [19, 20]. In several clinical studies,

nadto zaobserwowano, że światło czerwone hamuje uwalnianie prostaglandyn E2 (PGE2). W badaniu *in vitro* światłem czerwonym w niskich dawkach (0,2-1,2 J/cm²) wykazano, że może być skuteczne w terapii trądziku, ponieważ wpływa na redukcję łojotoku, zmniejsza stan zapalny oraz poprawia działanie naturalnej bariery skóry [10]. W badaniu Na i Suh z 2007 roku zastosowano promieniowanie o długości 635-670 nm na połowie powierzchni twarzy pacjentów przez 15 minut, 2 razy dziennie przez 8 tygodni. Dawka skumulowana pod koniec badania wynosiła 604,8 J/cm². Druga część twarzy nie była poddawana żadnej terapii. Średnia redukcja wykwitów zapalnych i niezapalnych po stronie leczonej sięgała 55%. Nie stwierdzono znaczących działań niepożądanych [11]. Jednak w badaniu porównującym skuteczność światła czerwonego (630 nm i 48 mW/cm²) i światła niebieskiego (405 nm, o mocy 30 mW/cm²) wykazano znacznie wyższą skuteczność leczenia trądziku przy zastosowaniu światła niebieskiego [12].

TERAPIA FOTODYNAMICZNA

Terapia fotodynamiczna (*photodynamic therapy* - PDT) polega na połączeniu terapii światłem widzialnym z miejscowym środkiem fotouczulającym. Najczęściej stosowanym środkiem fotouczulającym jest kwas 5-aminolewulinowy (ALA), który jest prekursorem protoporfiryny IX, właściwego związku fotowrażliwego, uwalniającego reaktywne formy tlenu (tlen singletowy i wolne rodniki), niszczącego komórki gruczołów łojowych oraz działającego bezpośrednio toksycznie na *C. acnes*. Dzięki szybkiej eliminacji z organizmu jego szkodliwe działanie na zdrową tkankę jest ograniczone. Dodając grupę metylową do ALA, można otrzymać aminolewulinian metylu (MAL), który jest bardziej lipofilny. Ta właściwość chemiczna umożliwia gromadzenie się związku fotouczulającego selektywnie w gruczołach łojowych, co ogranicza liczbę działań niepożądanych dotyczących innych struktur skóry [13, 14]. Inne pochodne porfiryn, chloryn i bakteriochloryn mają również zastosowanie w PDT jako środki fotouczulające. Do nowej klasy należą zielony kwas indocyjanowy i indolo-3-acetowy [15]. Optymalny czas kontaktu środka fotouczulającego ze skórą wynosi 15-90 minut [16].

Calzavara-Pinton i wsp. zastosowali światło czerwone o długości 635 nm w dawce 37 J/cm² w połączeniu z MAL. U ponad 75% spośród 221 badanych uzyskano poprawę zmian trądzikowych średnio o 72,8% [17]. Bissonnette i wsp. wykazali większą skuteczność wyższych dawek promieniowania w leczeniu zmian trądzikowych, porównując dawkę 35 J/cm² i 27 J/cm² [18]. W PDT wykorzystuje się także intensywne światło pulsacyjne (*intense pulsed light* - IPL). Zastosowanie IPL w PDT cechuje się wy-

lasers were also employed as a light source, including PDL (pulsed dye laser) and LPDL (long-pulsed dye laser). However, the outcomes of the studies varied considerably, preventing definitive conclusions [21].

INTENSE PULSED LIGHT

Technically speaking, intense pulsed light (IPL) is not a laser, as it does not produce a coherent beam of monochromatic light. Instead, it generates scattered polychromatic radiation beams of different wavelengths (in the 400–1200 nm spectrum) that affect various layers of the skin. IPL is administered using flashlamps and diverse cutoff filters, enabling the precise wavelength to be achieved while eliminating others. In the treatment of acne, filters are employed to achieve wavelengths around 420 nm. Emitted light is absorbed by porphyrins present in *C. acnes*, but also by endogenous chromophores that are present in the skin, which consequently leads to the destruction of blood vessels supplying the sebaceous glands. Moreover, IPL has anti-inflammatory properties by influencing the activity of TNF and TGF- β [3]. Kumaresan and Srinivas compared the therapeutic efficacy of multiple pulses (5 pulses every 6 ms) with single pulses (every 12 ms). Treatment with multiple pulses (reduction -56.66%) versus single pulses (40.17%) was found to be more effective [22]. A study involving 50 patients revealed no statistical difference between IPL used for acne treatment in monotherapy (530-nm filter, 35 J/cm², individual pulses of 35 ms) and the application of 5% benzoyl peroxide (BPO) once daily [23]. In the management of acne, both monotherapy and combination therapy, incorporating topical formulations including 5% BPO and retinoids, have proven to be effective [24].

Laser therapy of acne

The word 'laser' is an acronym for Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. This implies that the observed effect is attained through the phenomenon of stimulated emission of photons which generate a wave of the same length and consistent phase. Laser-emitted light is differentiated from light from other sources by beam characteristics such as coherence, monochromaticity, and parallelism (collimation). These properties make it easier to focus the beam in a small area and achieve high irradiance. In dermatology, the most important benefits of laser therapy are due to the photothermal and photochemical effects of laser on tissues [25, 26].

KTP laser

Potassium-titanyl-phosphate (KTP) laser, which uses KTiOPO₄ as the lasing medium, emits green

soką skutecznością, ponieważ średnia redukcja zmian trądzikowych wynosi około 72%. Korzyści są porównywalne ze stosowaniem światła czerwonego, jednak przy IPL efekt terapeutyczny osiągnąć jest wolniej. W praktyce klinicznej stosuje się niskie dawki promieniowania w zakresie 7–10 J/cm² [19, 20]. W kilku badaniach klinicznych zastosowano również lasery jako źródło światła, takie jak PDL (*pulsed dye laser*) i LPDL (*long-pulsed dye laser*), jednak wyniki badań znacząco różniły się między sobą, co uniemożliwiło ich jednoznaczną ocenę [21].

INTENSYWNE ŚWIATŁO PULSACYJNE

Intensywne światło pulsacyjne (*intense pulse light* – IPL) nie jest zaliczane pulsacyjne do laserów, gdyż nie emituje koherentnej wiązki światła monochromatycznego, tylko rozproszone, polichromatyczne wiązki promieniowania o różnej długości fali (w spektrum 400–1200 nm), które oddziałują na różne warstwy skóry. IPL są zasilane przez lampy błyskawiczne i filtry przepustowe, które umożliwiają uzyskanie odpowiedniej długości fali przy eliminacji pozostałych. W leczeniu trądziku zastosowanie mają filtry umożliwiające uzyskanie fal o długości 420 nm. Emitowane światło jest absorbowane przez porfiryny obecne w *C. acnes*, ale również przez endogenne chromofory znajdujące się w skórze, co prowadzi do destrukcji naczyń krwionośnych zaopatrujących gruczoły łojowe. Dodatkowo IPL ma działanie przeciwzapalne, wpływając na aktywność TNF i TGF- β [3]. Kumaresan i Srinivas porównywali skuteczność wielokrotnych pulsów (5 pulsów co 6 ms) z pojedynczymi (co 12 ms). Większą skuteczność przyniosło zastosowanie mnogich pulsów (redukcja -56,66%) w stosunku do pojedynczych (-40,17%) [22]. Badanie przeprowadzone u 50 pacjentów nie wykazało statystycznej różnicy pomiędzy leczeniem trądziku IPL w monoterapii (stosując filtr 530-nm, 35 J/cm² oraz pojedyncze pulsy o długości 35 ms) i 5% nadtlenkiem benzoilu (BPO) stosowanym raz dziennie [23]. W terapii trądziku skuteczna jest zarówno monoterapia, jak i terapia łączona z preparatami do użytku zewnętrznego, takimi jak 5% BPO oraz retinoidy [24].

Lasery w leczeniu trądziku

Nazwa *laser* to akronim, którego rozwinięcie jest *light amplification by stimulated emission of radiation*. Oznacza to, że obserwowany efekt jest uzyskiwany dzięki zjawisku wymuszonej emisji fotonów, które tworzą falę o jednakowej długości i zgodnej fazie. Światło emitowane przez laser różni się od światła pochodzącego z innych źródeł cechami wiązki, takimi jak koherencja, monochromatyczność oraz równoległość (kolimacja). Ułatwiają one skupianie wiązki na małej powierzchni i otrzymanie dużego natężenia promieniowania. W dermatologii stosuje się przede

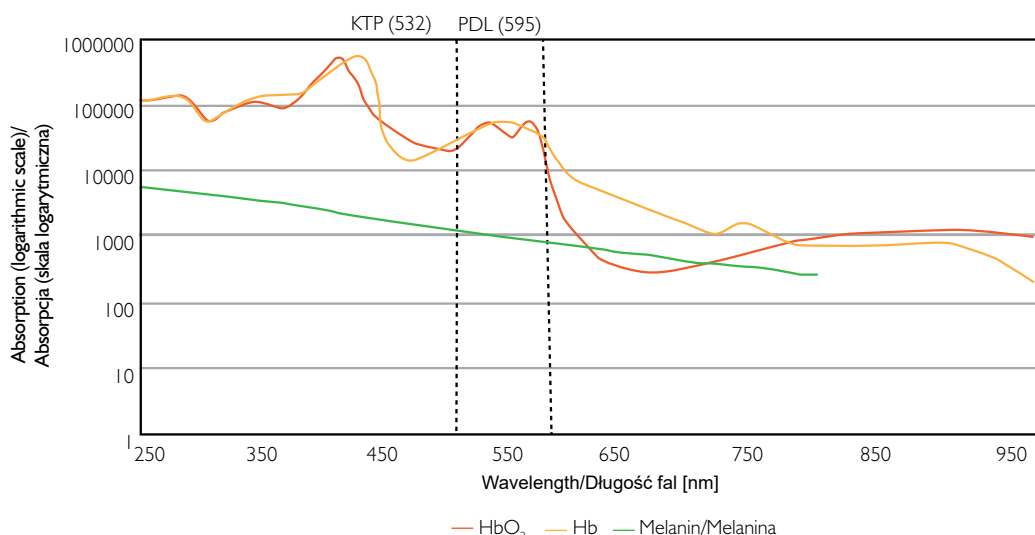


Figure 1. Absorption of radiation by chromophores as a function of wavelength. KTP and PDL laser wavelengths marked
Rycina 1. Absorpcja promieniowania przez chromofory w zależności od długości fal. Zaznaczono miejsce działania lasera KTP i PDL

light at a wavelength of 532 nm. KTP laser is frequently employed for the removal of vascular lesions, as oxyhemoglobin and melanin are chromophores for wavelengths in this range (fig. 1). The precise mechanism through which acne lesions are reduced remains unknown. It is hypothesized that the effect is achieved via selective photothermolysis of blood vessels and sebaceous glands. In addition, porphyrins produced by *C. acnes* absorb green light and, through the process of photoactivation, release oxygen free radicals that exert a destructive effect. KTP laser therapy is considered safe; however, transient side effects such as erythema, edema, or epidermal exfoliation may occur after treatment. In individuals with darker skin phototypes, treatment may cause post-treatment hyperpigmentation. Yilmaz *et al.* conducted a comparison study by administering therapy with KTP laser at 532 nm (dose: 5–12 J/cm²; pulses: 20–40-ms) to one half of the face in 38 patients with acne and leaving the other side untreated. The authors noted a 40% reduction in acne lesions on the treated side compared to a 13% reduction on the other part of the face [27].

Dye laser

Dye laser uses a fluorescent organic dye, usually as a liquid solution, as the lasing medium. Pulsed dye laser (PDL) was initially used for the treatment of vascular lesions, as it emits wavelengths in the yellow light portion of the spectrum (585 nm and 595 nm), which correspond to the absorption peak of oxyhemoglobin (fig. 1). In recent years, PDL has also been used to treat inflammatory lesions, including acne. This occurs because hemoglobin absorbs a specific wavelength, leading to a local increase in

wszystkim oddziaływanie fototermiczne oraz fotochemiczne lasera na tkankę [25, 26].

Laser KTP

Laser potasowo-tytanowo-fosforowy (*potassium-titanyl-phosphate* – KTP), wykorzystujący KTiOPO_4 jako ośrodek czynny, emituje światło zielone o długości fali 532 nm. Laser KTP jest często wykorzystywany w usuwaniu zmian naczyniowych, ponieważ oksyhemoglobina oraz melanina są chromoforami fali tej długości (ryc. 1). Dokładny mechanizm, w którym dochodzi do niwelowania zmian trądzikowych, nie został poznany. Przypuszcza się, że efekt jest uzyskiwany poprzez selektywną fototermolizę naczyń krwionośnych oraz gruczołów łojowych. Dodatkowo porfiryny produkowane przez *C. acnes* absorbują światło zielone i w procesie fotoaktywacji uwalniają wolne rodniki tlenowe, które prowadzą do niszczenia. Terapia laserem KTP jest bezpieczna, po zabiegu może pojawić się przemijający rumień, obrzęk lub złuszczenie naskórka. U osób z ciemnym fototypem skóry może powodować przebarwienia pozabiegowe. Yilmaz i wsp. porównywali stosowanie lasera KTP 532-nm (w dawce 5–12 J/cm² i pulsach trwających 20–40 ms) na połowie twarzy u 38 pacjentów z trądzikiem z nieleczoną drugą stroną. Redukcja zmian trądzikowych wynosiła 40% po stronie leczonej, a 13% na nieleczonej drugiej połowie [27].

Laser barwnikowy

Laser barwnikowy wykorzystuje jako ośrodek czynny ciekły roztwór barwnika organicznego, który ulega procesowi fluoryzacji. Początkowo zastosowanie lasera barwnikowego pulsacyjnego (*pulsed*

temperature in blood vessels and the release of anti-inflammatory cytokines. Moreover, wavelengths in the range of 585–595 nm are absorbed by porphyrins produced by *C. acnes*. PDL also triggers an increase in TGF- β , resulting in increased collagen synthesis and thereby reducing the risk of acne scarring. In addition, PDL yields beneficial effects in reducing the number of comedones [28]. The effect can be amplified through the simultaneous use of the Nd:YAG laser, which penetrates into the deeper skin layers, causing damage to over-reactive sebaceous glands. Salah el Din *et al.* evaluated treatment with PDL (585 nm, dose: 7–9 J/cm², pulse duration: 40 ms, spot size: 7 mm) and Nd:YAG laser (1064 nm, dose: 40–50 J/cm², pulse duration: 40 ms, spot size: 7 mm) [28]. PDL laser therapy may induce discomfort, and after treatment, there is a potential risk of purpura and skin pigmentation disorders. Such effects, however, are transient in nature. Special care should be exercised in the therapy of patients with darker skin phototypes, who are at an increased risk of hyperpigmentation [29].

Nd:YAG laser (1064 nm)

Neodymium-doped yttrium aluminum garnet (Nd:YAG) laser can be powered either by pulsed flashlamps or diode laser. Nd:YAG devices emit a beam with a wavelength of 1064 nm, falling within the infrared spectrum. These parameters correspond to peak water absorption (fig. 2), which is associated with a low degree of penetration into the skin. Also, this specific wavelength is absorbed by melanin and oxyhemoglobin.

The therapeutic effect on acne lesions is achieved through selective photothermolysis of blood vessels, increased secretion of TGF- β , decreased IL-8 levels, and thermal damage to sebaceous glands.

dye laser – PDL) dotyczyło zmian naczyniowych, ponieważ emituje fale w zakresie żółtego światła: 585 nm oraz 595 nm, które odpowiadają szczytowi absorpcji oksyhemoglobiny (ryc. 1). W ostatnich latach wykorzystuje się go również w leczeniu zmian zapalnych, w tym trądziku. Jest to możliwe dzięki absorpcji przez hemoglobinę określonej długości fal, co powoduje lokalny wzrost temperatury w naczyniach krwionośnych i uwolnienie cytokin przeciwzapalnych. Ponadto długość fal w zakresie 585–595 nm jest absorbowana przez porfiryny produkowane przez *C. acnes*. Dodatkowo PDL indukuje wzrost TGF- β , prowadząc do zwiększonej syntezy kolagenu, co zmniejsza ryzyko powstawania blizn potrądzikowych. Zastosowanie lasera PDL przynosi również korzystne efekty w eliminacji liczby zaskórników [28]. Efekt ten może być wzmocniony przy jednoczesnym zastosowaniu lasera Nd:YAG, który penetruje do głębszych warstw skóry, uszkadzając pobudzone gruczoły łojowe. Salah el Din i wsp. zastosowali PDL 585 nm w dawce 7–9 J/cm² o długości pulsów 40 ms i wielkości plamki 7 mm, natomiast laser Nd:YAG 1,064 nm w dawce 40–50 J/cm². Czas trwania pulsów wynosił 40 ms, a wielkość plamki również 7 mm [28]. Terapia laserem PDL może powodować uczucie dyskomfortu, a po zabiegu istnieje ryzyko powstania plamicy i zaburzeń pigmentacji skóry, które w większości przypadków są efektem przemijającym. Szczególną ostrożność należy zachować u pacjentów z ciemniejszym fototypem skóry ze zwiększonym ryzykiem hiperpigmentacji [29].

Nd:YAG laser (1064-nm)

Laser Nd:YAG (neodymowo-jagowy) może być zasilany zarówno przez pulsacyjne lampy błyskowe, jak i laser diodowy. Urządzenie Nd:YAG emituje wiązkę o długości fali 1064 nm, znajdującą się w spektrum pod-

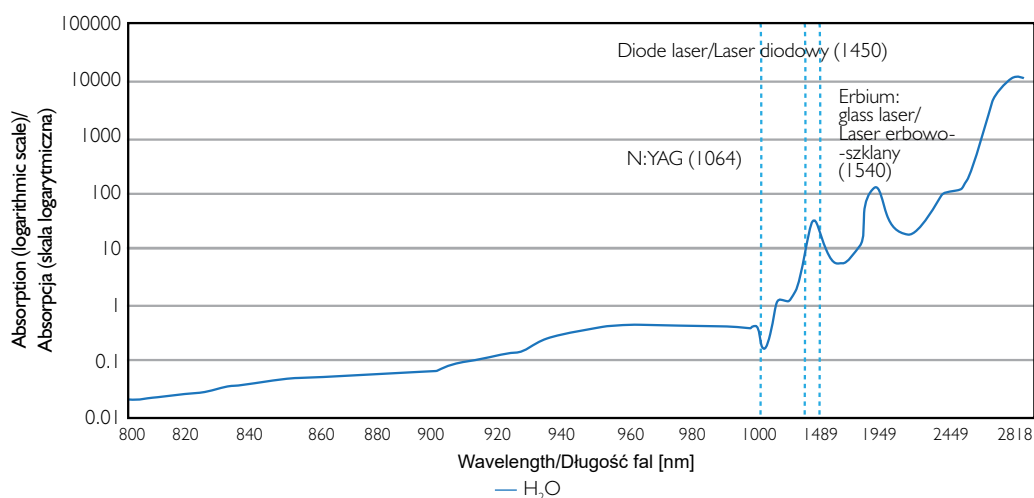


Figure 2. Absorption of radiation by water as a function of wavelength. Nd:YAG, diode laser, and erbium:glass laser wavelengths are marked
Rycina 2. Absorpcja promieniowania przez wodę w zależności od długości fali. Zaznaczono miejsce działania lasera Nd:YAG, are marked diodowego i erbowo-szkłanego

These effects probably contribute to a reduction in non-inflammatory lesions, such as comedones [30]. A study conducted by Mohamed *et al.* showed that three sessions of Nd:YAG laser therapy (1064 nm) every 4 weeks led to a reduction in acne lesions of up to 70.2%. The application of IPL therapy to the other half of the subjects' faces demonstrated no statistically significant difference in efficacy [31]. In another study, involving 34 participants with mild to moderate acne symptoms, the therapeutic efficacy of 1064-nm Nd:YAG treatment administered to one half of the face (5-ms pulses at a dose of 30 J/cm²; spot size 7 mm) was compared to 595-nm PDL applied to the other facial half (10-ms pulses at a dose of 8.5 J/cm²; spot size 7 mm). Both lasers had a positive treatment effect, with no statistically significant differences in efficacy. The patients showed a preference for Nd:YAG laser treatment due to experiencing less discomfort during therapy [30]. A long-lasting reduction in acne lesions (follow-up after 12 months) was noted in a study comprising eight sessions of Nd:YAG laser therapy (long pulses: 60 ms, dose: 20–23 J/cm², spot size: 10 mm) and the QS mode (dose: 1.1–1.3 J/cm², spot size: 6 mm). The overall improvement was estimated at 84% [32].

Diode (semiconductor) laser (1450 nm)

Treatment with diode laser, emitting radiation in the infrared spectrum (1450 nm), also has applications in dermatology. This wavelength allows deep penetration into the dermis, where the sebaceous glands are located. In this acne treatment modality, the goal is to induce thermal damage to over-reactive sebaceous glands and hyperkeratotic infundibulum cells, which supports long-term management of the condition. Furthermore, a bacteriostatic effect is observed, with radiation affecting the composition of sebum which serves as a nutrient source for *C. acnes* bacteria. Concurrent application of cooling gels minimizes the risk of damage to the epidermis and the development of adverse effects, such as redness, swelling, or skin hyperpigmentation. The first clinical trial exploring the applications of diode laser in acne treatment was conducted by Friedman *et al.*, who employed diode laser at a dose of 11–14 J/cm² in 19 patients in three sessions performed every 4 to 6 weeks. A reduction in skin lesions of up to 86% was observed, with adverse effects manifested only by transient redness and swelling [33]. Doubts about the efficacy of diode laser therapy were raised in the study by Darnè *et al.* in a group of 32 patients, in which no difference was observed between the laser-treated face half and the non-treated control half [34]. To minimize damage to surrounding tissues, attempts were undertaken to introduce light-absorbing chromophores directly into the glands. Paithan-

czywni. Takie parametry odpowiadają szczytowej absorpcji wody (ryc. 2), co wiąże się z małą penetracją w głąb skóry. Dodatkowo taka długość fali pochłaniana jest także przez melaninę i oksyhemoglobinę.

Efekt terapeutyczny względem zmian trądzikowych jest uzyskiwany dzięki selektywnej fototermolizie naczyń krwionośnych, zwiększonemu wydzielaniu TGF-β, redukcji IL-8 oraz uszkodzeniu termicznemu gruczołów łojowych, co prawdopodobnie ma wpływ na redukcję zmian niezapalnych – zaskórników [30]. W badaniu przeprowadzonym przez Mohamed i wsp. stwierdzono, że trzy sesje zabiegów laserem Nd:YAG 1064 nm co 4 tygodnie redukują zmiany trądzikowe do 70,2%. Terapia IPL zastosowana na drugiej połowie twarzy badanych nie wykazała się statystyczną różnicą w skuteczności [31]. Kolejne badanie przeprowadzone u 34 uczestników z objawami łagodnego i średniego trądziku porównywało skuteczność zastosowania 1064-nm Nd:YAG na połowie twarzy (5-milisekundowe pulsy w dawce 30 J/cm² i wielkość plamki równa 7 mm) z użyciem 595-nm PDL na drugiej połowie (10-ms pulsy, dawka 8,5 J/cm² i plamka wielkości 7 mm). Oba lasery charakteryzował dobry efekt leczniczy, bez statystycznej różnicy w ich skuteczności. Pacjenci preferowali leczenie za pomocą lasera Nd:YAG ze względu na mniejszą ilość nieprzyjemnych doznań w czasie terapii [30]. Trwały efekt redukcji zmian trądzikowych (obserwacja wyników po 12 miesiącach) odnotowano w badaniu obejmującym 8 sesji, gdzie zastosowano długie pulsy lasera Nd:YAG trwające 60 ms, w dawce 20–23 J/cm², plamce o wielkości 10 mm oraz tryb QS w dawce 1,1–1,3 J/cm² i plamce wielkości 6 mm. Całościowo poprawa wynosiła 84% [32].

Laser diodowy (półprzewodnikowy) 1450-nm

W dermatologii wykorzystuje się laser diodowy emitujący promieniowanie w zakresie spektrum podczerwieni (1450 nm). Taka długość fal umożliwia głęboką penetrację w głąb skóry właściwej, gdzie zlokalizowane są gruczoły łojowe. Termiczne uszkodzenie pobudzonych gruczołów łojowych oraz hiperkeratotycznych komórek lejka mieszkca włosowego jest w tym przypadku celem terapii przeciwtrądzikowej, umożliwiając długofalową walkę z patogenezą trądziku. Ponadto obserwuje się działanie bakteriostatyczne poprzez wpływ promieniowania na skład łoju, będącego pożywką dla bakterii *C. acnes*. Jednoczesne stosowanie żeli chłodzących minimalizuje ryzyko uszkodzenia naskórka i występowanie działań niepożądanych, do których należą zaczerwienienie, obrzęk i hiperpigmentacja skóry. Friedman i wsp. przeprowadzili pierwsze badanie kliniczne, w którym zastosowano laser diodowy w dawce 11–14 J/cm² u 19 pacjentów w 3 sesjach co 4–6 tygodni. Zaobserwowano redukcję zmian sięgającą 86%, a działania niepożądane manifestowały się jedynie przemijającym zaczerwienieniem i obrzękiem [33]. Wątpliwości co

kar *et al.* used gold-coated silicone particles absorbing 800 nm radiation at a dose of 10–50 J/cm², with 30-ms pulses. Twenty-eight days after completing the therapy, which consisted of three irradiation sessions, a 61% reduction in inflammatory lesions was noted [35]. Lloyd and Mirkov conducted a clinical trial using indocyanine green as a chromophore to facilitate selective photothermolysis of hyperreactive sebaceous glands. The therapy involved radiation delivered in 50-ms pulses, at 810 nm, at a dose of 40 J/cm². Histological examination revealed selective necrosis of sebaceous glands. Clinical improvement in the skin condition of patients was also observed at follow-up visits after 3, 6 and 10 months [36].

Erbium: glass laser

The device emits light with a wavelength of 1540 nm, which corresponds to the mid-infrared range. Erbium:glass laser has a water absorption peak in its spectrum (fig. 2), which results in selective damage to various water-containing structures, including keratinocytes, collagen, or blood vessels. This, in turn, activates processes such as epidermal repair and collagen remodeling. The effects outlined above lead to a sensation of tightness and dryness in the skin. Consequently, laser sessions should be followed by skin hydration treatment. Acne therapy relies on the process of energy absorption by sebaceous glands in the skin, resulting in their damage through a photo-thermal reaction. A positive effect of therapy is the reduction of seborrhea in patients [37]. This observation was documented in a clinical study of 25 patients conducted by Angel *et al.* In this study, an average lesion reduction of up to 71% was noted in the subjects after four courses of treatment (cumulative dose: 40 J/cm², 3-ms pulses) at a dose of 10 J/cm², administered every 4 weeks. Post-treatment skin biopsy revealed a decrease in the size of sebaceous glands without morphological damage to structures in the skin or epidermis. Erbium:glass laser treatments are considered safe, as reported in clinical trials where patients experienced only transient erythema and edema. The application of cooling agents was found to additionally reduce the risk of thermal damage to the surrounding tissues [38]. High efficacy of erbium:glass laser therapy was also shown in a study involving 45 patients who underwent four treatments (spot density: 169/cm², wavelength: 1550 nm, dose: 15–30 mJ/cm²) every 4 weeks. Immediately after the sessions, a 67.7% reduction in acne lesions was observed. After year, the mean reduction in lesions reached 79%, and after 2 years 75%. All patients reported a reduction in seborrhea [37].

do skuteczności lasera diodowego wzbudziło badanie Darnè i wsp. w grupie 32 pacjentów, u których nie zaobserwowano różnicy pomiędzy leczoną połową twarzy a stroną kontrolną [34]. W celu ograniczenia uszkodzeń tkanek otaczających rozpoczęto wprowadzanie chromoforów absorbujących światło bezpośrednio do gruczołów. Paithankar i wsp. zastosowali sylikonowe cząsteczki pokryte złotem, które pochłaniały promieniowanie o długości 800 nm, w dawce 10–50 J/cm² i 30-milisekundowych pulsach. Po 28 dniach od zakończenia terapii składającej się z 3 sesji napromieniowania zaobserwowano redukcję zmian zapalnych o 61% [35]. Lloyd i Mirkov przeprowadzili badanie kliniczne z zastosowaniem zieleni indocyjanowej jako chromoforu umożliwiającego selektywną fototermodolizę nadreaktywnych gruczołów łojowych, stosując promieniowanie o długości 810 nm, 50-milisekundowe pulsy w dawce 40 J/cm². Badanie histologiczne wykazało selektywną martwicę gruczołów łojowych. Zaobserwowano również kliniczną poprawę stanu skóry pacjentów na wizytach kontrolnych po 3, 6 i 10 miesiącach [36].

Laser erbowo-szkłany

Urządzenie emituje światło o długości fali 1540 nm, odpowiadające zakresowi średniej podczerwieni. Laser erbowo-szkłany ma w swoim zakresie pik absorpcji wody (ryc. 2), co prowadzi do selektywnego uszkodzenia różnych struktur zawierających w strukturze wodę, np. keratynocytów, kolagenu i naczyń krwionośnych. To w konsekwencji aktywuje procesy naprawy naskórka oraz przebudowy skóry właściwej. Przedstawione działania skutkują uczuciem napięcia i suchości, w związku z tym po zastosowanych zabiegach niezbędne jest nawilżanie. W terapii trądziku wykorzystuje się zjawisko absorpcji energii przez gruczoły łojowe znajdujące się w skórze, co powoduje ich uszkodzenie w reakcji fototermodolizy. Korzystnym efektem jest zmniejszenie u pacjentów łojotoku [37]. Spostrzeżenie to zostało odnotowane w badaniu klinicznym przeprowadzonym u 25 pacjentów przez Angel i wsp., u których po zastosowaniu 4 serii zabiegów co 4 tygodnie w dawce 10 J/cm² (dawka skumulowana 40 J/cm²) i 3-milisekundowych pulsach zauważono średnią redukcję zmian sięgającą 71%. Biopsja skóry po przeprowadzonych zabiegach wykazała zmniejszenie rozmiarów gruczołów łojowych, bez uszkodzenia morfologicznego struktur skóry i naskórka. Laser erbowo-szkłany jest bezpieczny. Podczas prób klinicznych pacjenci zgłaszali jedynie przemijający rumień i obrzęk. Stosowanie preparatów chłodzących dodatkowo zmniejsza ryzyko uszkodzenia termicznego tkanek otaczających [38]. Dużą skuteczność lasera erbowo-szkłanego potwierdziło również badanie przeprowadzone u 45 pacjentów, w którym zastosowano 4 zabiegi co 4 tygodnie, gęstość

CONCLUSIONS

Contemporary treatment of acne is based on a variety of topical and oral agents that target specific components of the pathogenesis of acne lesions. The pursuit of innovative acne treatments is mainly driven by the incomplete efficacy of external therapies and their potential for adverse effects, such as skin irritation in topical treatments or teratogenicity during isotretinoin therapy.

The authors of the European Dermatology Forum (EDF) guidelines are of the view that blue light monotherapy could be considered for the treatment of mild to moderate papulopustular acne. However, it needs to be stressed that the strength of these recommendations is low. In addition, the guidelines neither endorse nor discourage the use of red light, IPL, lasers, and PDT for the therapy of severe papulopustular acne and moderate nodular acne because there is no adequate evidence regarding the effectiveness of these therapies, while the shortage of clinical data prevents the adoption of standardized management guidelines. Furthermore, monotherapy with visible light is not recommended in patients with severe nodular acne, while treatment with ultraviolet radiation from artificial sources is not advised for any type of acne [39]. The 2019 EDF guidelines on photodynamic therapy in dermatology recommend the application of PDT (at I B level), while underlining the need to standardize treatment protocols [40].

Acne is a condition with a multifactorial pathomechanism, which markedly complicates the selection of a control group. The clinical trials conducted to date have not consistently considered factors such as disorders of hormone metabolism, exposure to external elements (e.g. sunlight), dietary habits, genetic background, or cosmetics used in daily skincare, which could have impacted the reliability of the study findings.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

References

Piśmiennictwo

1. Cong T.X., Hao D., Wen X., Li X.H., He G., Jiang X.: From pathogenesis of acne vulgaris to anti-acne agents. Arch Dermatol Res 2019, 311, 337-349.

plamek na 1 cm² wynosiła 169, długość fal 1550 nm oraz dawka 15–30 mJ/cm². Bezpośrednio po sesjach zaobserwowano redukcję zmian trądzikowych o 67,7%. Po roku średnia redukcja zmian sięgała 79%, a po 2 latach 75%. Stwierdzono zmniejszony łojotok u wszystkich pacjentów [37].

PODSUMOWANIE

Współcześnie w terapii trądziku stosowanych jest wiele preparatów miejscowych i doustnych, które oddziałują na poszczególne komponenty patogenezы zmian trądzikowych. Innowacyjne metody leczenia trądziku są poszukiwane głównie ze względu na niepełną skuteczność terapii miejscowych oraz wystąpienie działań niepożądanych, takich jak podrażnienia skóry podczas leczenia zewnętrznego lub teratogenność podczas terapii izotretynoiną.

Autorzy wytycznych *European Dermatology Forum* (EDF) stoją na stanowisku, że w przypadku łagodnego i umiarkowanego trądziku grudkowo-krostkowego monoterapia światłem niebieskim może być rozważona, jednak siła zaleceń jest niska. W przypadku ciężkiego trądziku grudkowo-krostkowego oraz umiarkowanego guzkowego wytyczne nie wykluczają ani nie zalecają stosowania światła czerwonego, IPL, laserów oraz PDT ze względu na brak wystarczającej liczby dowodów na skuteczność tych terapii oraz małą liczbę danych klinicznych umożliwiających stworzenie standardów postępowania. Ponadto w postaci ciężkiej trądziku guzkowego nie jest zalecana monoterapia światłem widzialnym. Leczenie promieniowaniem ultrafioletowym ze sztucznego źródła nie jest wskazane w żadnym z rodzajów trądziku [39]. Wytyczne EDF z 2019 roku dotyczące terapii fotodynamicznej w dermatologii rekomendują stosowanie PDT (na poziomie IB), przy czym podkreślają jednocześnie konieczność standaryzacji protokołów leczenia [40].

Trądzik jest chorobą o wieloczynnikowym patomechanizmie, co znacznie utrudnia dobranie grupy kontrolnej. Podczas badań klinicznych nie zawsze uwzględniano zaburzenia gospodarki hormonalnej, ekspozycję na czynniki zewnętrzne (np. światło słoneczne), rodzaj diety, uwarunkowania genetyczne lub stosowane kosmetyki w codziennej pielęgnacji skóry, co mogło mieć wpływ na wiarygodność badań.

KONFLIKT INTERESÓW

Autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów.

2. **Das S., Reynolds R.V.:** Recent advances in acne pathogenesis: implications for therapy. *Am J Clin Dermatol* 2014, 15, 479-488.
3. **Tsoukas M., Adya K., Inamadar A., Pei S.:** Light-based therapies in acne treatment. *Indian Dermatol Online J* 2015, 6, 145-147.
4. **Sorbellini E., Rucco M., Rinaldi F.:** Photodynamic and photobiological effects of light-emitting diode (LED) therapy in dermatological disease: an update. *Lasers Med Sci* 2018, 33, 1431-1439.
5. **Charakida A., Seaton E.D., Charakida M., Mouser P., Avgerinos A., Chu A.C.:** Phototherapy in the treatment of acne vulgaris: what is its role? *Am J Clin Dermatol* 2004, 5, 211-216.
6. **Ash C., Harrison A., Drew S., Whittall R.:** A randomized controlled study for the treatment of acne vulgaris using high-intensity 414 nm solid state diode arrays. *J Cosmet Laser Ther* 2015, 17, 170-176.
7. **Tzung T.Y., Wu K.H., Huang M.L.:** Blue light phototherapy in the treatment of acne. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 2004, 20, 266-269.
8. **Diogo M.L.G., Campos T.M., Fonseca E.S.R., Horliana A., Fernandes K., Bussadori S.K., et al.:** Effect of blue light on acne vulgaris: a systematic review. *Sensors (Basel)* 2021, 21, 6943.
9. **Masson-Meyers D.S., Bumah V.V., Biener G., Raicu V., Enwemeka C.S.:** The relative antimicrobial effect of blue 405 nm LED and blue 405 nm laser on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in vitro. *Lasers Med Sci* 2015, 30, 2265-2271.
10. **Li W.H., Fassih A., Binner C., Parsa R., Southall M.D.:** Low-level red LED light inhibits hyperkeratinization and inflammation induced by unsaturated fatty acid in an in vitro model mimicking acne. *Lasers Surg Med* 2018, 50, 158-165.
11. **Na J.L., Suh D.H.:** Red light phototherapy alone is effective for acne vulgaris: randomized, single-blinded clinical trial. *Dermatol Surg* 2007, 33, 1228-1233.
12. **Liu G., Pan C., Li K., Tan Y., Wei X.:** Phototherapy for mild to moderate acne vulgaris with portable blue and red led. *J Innov Opt Health Sci* 2011, 4, 45-52.
13. **Boen M., Brownell J., Patel P., Tsoukas M.M.:** The role of photodynamic therapy in acne: an evidence-based review. *Am J Clin Dermatol* 2017, 18, 311-321.
14. **Hong J.S., Jung J.Y., Yoon J.Y., Suh D.H.:** Acne treatment by methyl aminolevulinate photodynamic therapy with red light vs. intense pulsed light. *Int J Dermatol* 2013, 52, 614-619.
15. **Kwiatkowski S., Knap B., Przystupski D., Saczko J., Kńódzierska E., Knap-Czop K., et al.:** Photodynamic therapy - mechanisms, photosensitizers and combinations. *Biomed Pharmacother* 2018, 106, 1098-1107.
16. **Taylor M.N., Gonzalez M.L.:** The practicalities of photodynamic therapy in acne vulgaris. *Br J Dermatol* 2009, 160, 1140-1148.
17. **Calzavara-Pintoni P.G., Rossi M.T., Aronson E., Sala R.:** A retrospective analysis of real-life practice of off-label photodynamic therapy using methyl aminolevulinate (MAL-PDT) in 20 Italian dermatology departments. Part 1: inflammatory and aesthetic indications. *Photochem Photobiol Sci* 2013, 12, 148-157.
18. **Bissonnette R., Maari C., Nigen S., Provost N., Bolduc C.:** Photodynamic therapy with methylaminolevulinate 80 mg/g without occlusion improves acne vulgaris. *J Drugs Dermatol* 2010, 9, 1347-1352.
19. **Yeung C.K., Shek S.Y., Bjerring P., Yu C.S., Kono T., Chan H.H.:** A comparative study of intense pulsed light alone and its combination with photodynamic therapy for the treatment of facial acne in Asian skin. *Lasers Surg Med* 2007, 39, 1-6.
20. **Hong J.S., Jung J.Y., Yoon J.Y., Suh D.H.:** Acne treatment by methyl aminolevulinate photodynamic therapy with red light vs. intense pulsed light. *Int J Dermatol* 2013, 52, 614-619.
21. **Boen M., Brownell J., Patel P., Tsoukas M.M.:** The role of photodynamic therapy in acne: an evidence-based review. *Am J Clin Dermatol* 2017, 18, 311-321.
22. **Kumaresan M., Srinivas C.R.:** Efficacy of ipl in treatment of acne vulgaris: comparison of single- and burst-pulse mode in ipl. *Indian J Dermatol* 2010, 55, 370-372.
23. **El-Latif A.A., Hassan F.A., Elshahed A.R., Mohamed A.G., Elsaie M.L.:** Intense pulsed light versus benzoyl peroxide 5% gel in treatment of acne vulgaris. *Lasers Med Sci* 2014, 29, 1009-1015.
24. **Li Y., Zhu J., Zhang Y., Liu X., Ye J.:** Isotretinoin plus 420 nm intense pulsed light versus isotretinoin alone for the treatment of acne vulgaris: a randomized, controlled study of efficacy, safety, and patient satisfaction in Chinese subjects. *Lasers Med Sci* 2021, 36, 657-665.
25. **Lanigan S.W.:** *Lasery w dermatologii.* Czelej, Lublin, 2005.
26. **Tong L.X., Brauer J.A.:** Lasers, light, and the treatment of acne: a comprehensive review of the literature. *J Drugs Dermatol* 2017, 16, 1095-1102.
27. **Yilmaz O., Senturk N., Yuksel E.P., Aydin F., Ozden M.G., Canturk T., et al.:** Evaluation of 532-nm KTP laser treatment efficacy on acne vulgaris with once and twice weekly applications. *J Cosmet Laser Ther* 2011, 13, 303-307.
28. **Salah El Din M.M., Samy N.A., Salem A.E.:** Comparison of pulsed dye laser versus combined pulsed dye laser and Nd:YAG laser in the treatment of inflammatory acne vulgaris. *J Cosmet Laser Ther* 2017, 19, 149-159.
29. **Seaton E.D., Charakida A., Mouser P.E., Grace I., Clement R.M., Chu A.C.:** Pulsed-dye laser treatment for inflammatory acne vulgaris: randomised controlled trial. *Lancet* 2003, 362, 1347-1352.
30. **Chalermuwattananan N., Rojhirunsakool S., Kamanamool N., Kanokrungeesee S., Udompataikul M.:** The comparative study of efficacy between 1064-nm long-pulsed Nd:YAG laser and 595-nm pulsed dye laser for the treatment of acne vulgaris. *J Cosmet Dermatol* 2021, 20, 2108-2115.
31. **Mohamed E.E., Tawfik K., Elsaie M.:** Intense pulsed light versus 1,064 long-pulsed neodymium: yttrium-aluminum-garnet laser in the treatment of facial acne vulgaris. *J Clin Diagn Res* 2016, 10, WC01-WC3.
32. **Bakus A.D., Yaghmai D., Massa M.C., Garden B.C., Garden J.M.:** Sustained benefit after treatment of acne vulgaris using only a novel combination of long-pulsed and Q-switched 1064-nm Nd:YAG lasers. *Dermatol Surg* 2018, 44, 1402-1410.
33. **Friedman P.M., Jih M.H., Kimyai-Asadi A., Goldberg L.H.:** Treatment of inflammatory facial acne vulgaris with the 1450-nm diode laser: a pilot study. *Dermatol Surg* 2004, 30, 147-151.
34. **Darné S., Hiscutt E.L., Seukeran D.C.:** Evaluation of the clinical efficacy of the 1450 nm laser in acne vulgaris: a randomized split-face, investigator-blinded clinical trial. *Br J Dermatol* 2011, 165, 1256-1262.
35. **Paithankar D.Y., Sakamoto F.H., Farinelli W.A., Kosiratna G., Blomgren R.D., Meyer T.J., et al.:** Acne treatment based on selective photothermolysis of sebaceous follicles with topically delivered light-absorbing gold microparticles. *J Invest Dermatol* 2015, 135, 1727-1734.

36. **Lloyd J.R., Mirkov M.:** Selective photothermolysis of the sebaceous glands for acne treatment. *Lasers Surg Med* 2002, 31, 115-120.
37. **Liu Y., Zeng W., Hu D., Jha S., Ge Q., Geng S., et al.:** The long-term effect of 1550 nm erbium:glass fractional laser in acne vulgaris. *Lasers Med Sci* 2016, 31, 453-457.
38. **Angel S., Boineau D., Dahan S., Mordon S.:** Treatment of active acne with an Er:Glass (1.54 microm) laser: a 2-year follow-up study. *J Cosmet Laser Ther* 2006, 8, 71-176.
39. **Nast A., Rosumeck S., Erdmann R., Alsharif U., Dressler C., Werner R.N., et al.:** Methods report on the development of the European evidence-based (S3) guideline for the treatment of acne - update 2016. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2016, 30, e1-e28.
40. **Morton C.A., Szeimies R.M., Basset-Séguin N., Calzavara-Pinton P.G., Gilaberte Y., Haedersdal M., et al.:** European Dermatology Forum guidelines on topical photodynamic therapy 2019 Part 2: emerging indications - field cancerization, photorejuvenation and inflammatory/infective dermatoses. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2020, 34, 17-29.

Received: 24.02.2022

Accepted: 14.02.2024

Otrzymano: 24.02.2022

Zaakceptowano: 14.02.2024

How to cite this article

Brzezińska N.E., Roter G., Szczerkowska-Dobosz A.: Possibilities and limitations of using various light sources in the treatment of acne vulgaris. *Dermatol Rev/Przegl Dermatol* 2023, 110. DOI: <https://doi.org/10.5114/dr.2023.138938>.