

Lasers in dermatology. Recommendations of the Polish Dermatological Society. Part I. Lasers in dermatosurgery

Zastosowanie laserów w dermatologii. Rekomendacje Polskiego Towarzystwa Dermatologicznego. Część I. Lasery w dermatochirurgii

Irena Walecka¹, Bartłomiej Kwiek^{2,3}, Adam Borzęcki⁴, Olga Warszawik-Hendzel⁵, Marcin Ambroziak², Andrzej Kaszuba⁶, Aleksandra Lesiak⁶, Joanna Narbutt⁶, Agnieszka Owczarczyk-Saczonek⁷, Witold Owczarek⁸, Barbara Pytrus⁹, Barbara Zegarska¹⁰, Lidia Rudnicka⁵

¹Department of Dermatology of the Post-Graduate Medical Education Centre/Central Teaching Hospital of the Ministry of Internal Affairs and Administration, Warsaw, Poland

²Ambroziak Clinic-Dermatology, Warsaw, Poland

³Medical Faculty, Łazarski University, Warsaw, Poland

⁴Non-Public Healthcare Institution Med-Laser, Dermatology Ward, Lublin, Poland

⁵Department of Dermatology, Medical University of Warsaw, Warsaw, Poland

⁶Department of Dermatology, Pediatric and Oncological Dermatology, Medical University of Lodz, Lodz, Poland

⁷Department of Dermatology, STDs and Clinical Immunology, University of Warmia and Mazury, Olsztyn, Poland

⁸Department of Dermatology, Military Medical Institute, Warsaw, Poland

⁹Therapeutic and Laser Dermatology Office PLATINIUM, Wrocław, Poland

¹⁰Cosmetology and Aesthetic Dermatology, Collegium Medicum in Bydgoszcz, Nicolaus Copernicus University, Torun, Poland

¹Klinika Dermatologii, Centrum Medycznego Kształcenia Podyplomowego/CSK MSWiA, Warszawa, Polska

²Klinika Ambroziak Dermatologia, Warszawa, Polska

³Wydział Medyczny, Uczelnia Łazarskiego, Warszawa, Polska

⁴Niepubliczny Zakład Opieki Zdrowotnej Med-Laser, Oddział Dermatologiczny, Lublin, Polska

⁵Katedra i Klinika Dermatologiczna, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

⁶Klinika Dermatologii, Dermatologii Dziecięcej i Onkologicznej, Uniwersytet Medyczny, Łódź, Polska

⁷Klinika Dermatologii, Chorób Przenoszonych Drogą Płciową i Immunologii Klinicznej, Uniwersytet Warmińsko-Mazurskiego, Olsztyn, Polska

⁸Klinika Dermatologii, Wojskowy Instytut Medyczny, Warszawa, Polska

⁹Gabinet Dermatologii Leczniczej i Laserowej PLATINIUM, Wrocław, Polska

¹⁰Katedra Kosmetologii i Dermatologii Estetycznej, Collegium Medicum w Bydgoszczy, Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Polska

Dermatol Rev/Przegl Dermatol 2022, 109, 1–22

DOI: <https://doi.org/10.5114/dr.2022.116729>

ABSTRACT

**CORRESPONDING AUTHOR/
ADRES DO KORESPONDENCJI:**
Irena Walecka
Klinika Dermatologii
Centrum Medycznego
Kształcenia Podyplomowego
CSK MSWiA
Warszawa, Polska
e-mail: waleckair@gmail.com

Lasers and intense light sources have made it possible to treat many diseases in dermatology. They also may be applied in aesthetic dermatology. These recommendations contain a summary of basic concepts, information on physical parameters and types of lasers used in modern dermatology. Part 1 of recommendations concerns the use of CO₂, erbium:YAG lasers in dermatosurgery. Taken into consideration the wide use of CO₂ lasers in dermatology, these lasers may be considered a basic therapeutic tool for every dermatologist.

Key words: laser therapy, dermatosurgery, CO₂ laser.

STRESZCZENIE

Lasery i intensywne źródła światła umożliwiają leczenie wielu chorób w dermatologii, a także znalazły zastosowanie w dermatologii estetycznej. W rekomendacjach dokonano zestawienia podstawowych pojęć, informacji o parametrach fizycznych oraz na temat rodzajów la-

serów wykorzystywanych w dermatologii. Część 1 rekomendacji dotyczy zastosowania laserów CO₂ i erbowo:yagowych w dermatochirurgii. W szczególności lasery CO₂ mają szerokie zastosowanie w dermatologii, dlatego stanowią jedno z podstawowych narzędzi pracy dermatologa.

Słowa kluczowe: laseroterapia, dermatochirurgia, laser CO₂.

INTRODUCTION

Introduction of lasers and intense light sources enabled the effective use of light in dermatosurgery and the development of methods based on selective photothermolysis and fractional skin damage [1, 2]. The most common dermatosurgery procedure with the use of lasers is removal of skin lesions with a CO₂ laser. Incorrect preparation of the patient or poorly collected medical history increase the risk of side effects in the form of discolorations and scars.

The aim of this paper is to present the current knowledge on the use of lasers in dermatology, with particular emphasis (in part I) on their use in dermatosurgery. This publication is intended to help dermatologists choose the most appropriate laser method depending on the indication. This is the first part of Recommendations of the Polish Dermatological Society regarding the use of lasers in dermatology.

PHYSICAL PROPERTIES

Light is electromagnetic radiation in the range from ultraviolet through visible to infrared (fig. 1). In dermatology, lamps emitting a wide spectrum of light are used, lamps with a narrower, but non-monochromatic spectrum of radiation (e.g., intense pulse light – IPL, UVA lamps), monochrome lamps (e.g., excimer lamp, LED lamps) and laser light – monochrome. For the biological effect of light, its properties presented in table 1 are of fundamental importance. The use of a laser allows to achieve high energy density (fluence), which is a condition for precise and selective destruction of selected structures.

Light falling on the skin is scattered, reflected and absorbed (fig. 2), and the depth of its penetration depends on the wavelength (fig. 1), spot size and fluency [3]. Short ultraviolet rays act directly on the epidermis, while UVA and blue light reach the papillary layer of the dermis. Depth of penetration increases with increasing wavelength up to the near infrared. A further increase in wavelength reduces penetration sharply and, in the distal infrared region, light is trapped in the epidermis. For laser light, penetra-

WPROWADZENIE

Wprowadzenie laserów i intensywnych źródeł światła umożliwiło skuteczne użycie światła w dermatochirurgii i rozwój metod opartych na selektywnej fototermolizie i frakcyjnym uszkodzeniu skóry [1, 2]. Najczęstszym zabiegiem z zakresu dermatochirurgii z zastosowaniem laserów jest usuwanie zmian skórnych za pomocą lasera CO₂. Nieprawidłowe przygotowanie pacjenta lub źle zebrany wywiad zwiększają ryzyko wystąpienia działań niepożądanych w postaci przebarwień, odbarwień oraz blizn.

Celem tej pracy jest przedstawienie aktualnej wiedzy na temat zastosowania laserów w dermatologii ze szczególnym uwzględnieniem (w części I) ich wykorzystania w dermatochirurgii. Artykuł ma na celu ułatwienie dermatologom wyboru najbardziej odpowiedniej metody laserowej w zależności od wskazania. Jest to pierwsza część rekomendacji Polskiego Towarzystwa Dermatologicznego dotyczących zastosowania laserów w dermatochirurgii.

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE

Światłem nazywamy promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie od ultrafioletu poprzez światło widzialne do podczerwonego (ryc. 1). W dermatologii wykorzystuje się lampy emitujące szerokie spektrum światła, lampy o węższym, ale niemonochromatycznym spektrum promieniowania (np. *intense pulse light* – IPL, lampy UVA), lampy monochromatyczne (np. lampa ekscymeryowa, lampy LED) i światło lasera – monochromatyczne. Dla efektu biologicznego światła podstawowe znaczenie mają jego właściwości przedstawione w tabeli 1. Zastosowanie lasera pozwala na osiągnięcie wysokiej gęstości energii (fluencji), co jest warunkiem precyzyjnej i selektywnej destrukcji wybranych struktur.

Światło padające na skórę ulega rozproszeniu, odbiciu i absorpcji (ryc. 2), a głębokość jego przenikania zależy od długości fali (ryc. 1), wielkości plamki i fluencji [3]. Krótki ultrafiolet działa bezpośrednio na naskórek, a UVA i światło niebieskie dochodzi do warstwy brodawkowatej skóry właściwej. Głębokość penetracji wzrasta wraz ze wzrostem długości fali aż do bliskiej podczerwieni.

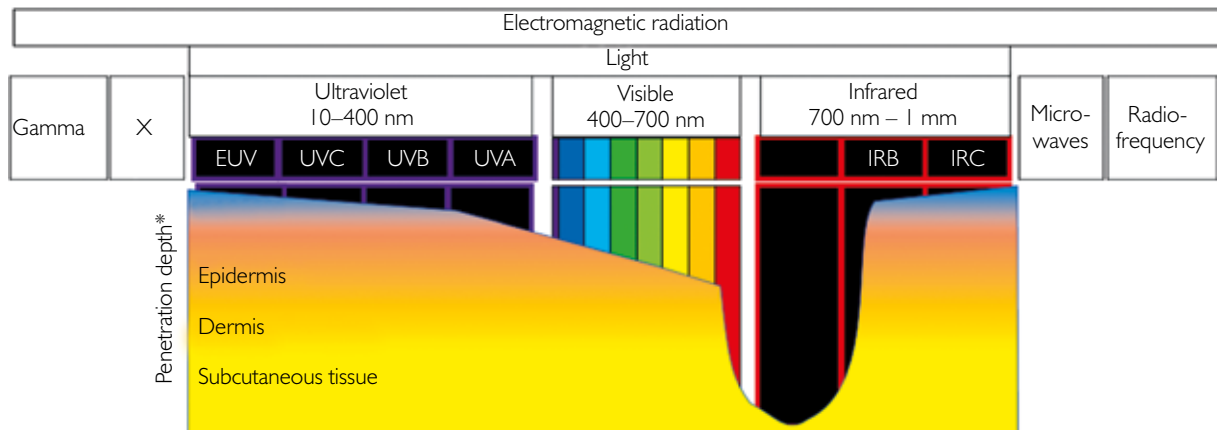
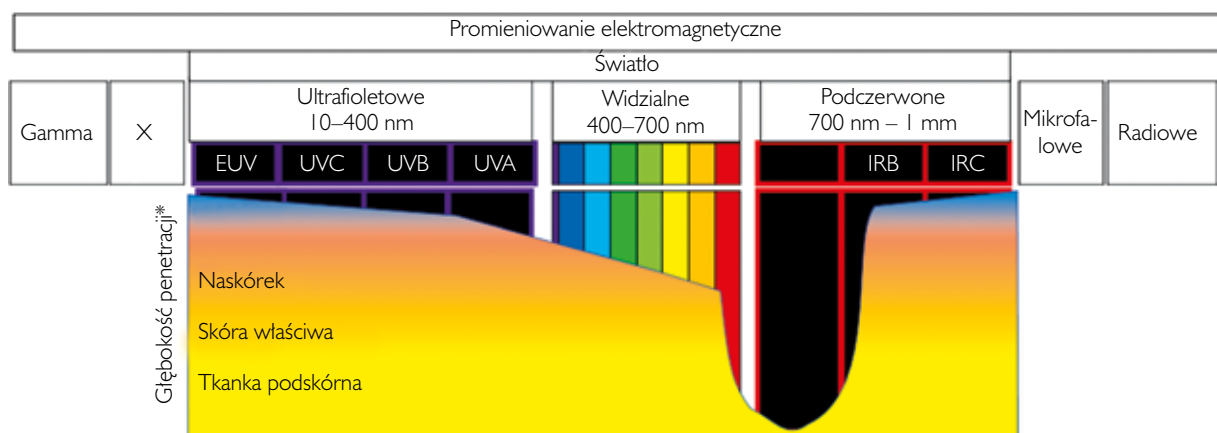


Figure 1. The spectrum of light in comparison to other electromagnetic waves and the depth of light penetration into the skin



Rycina 1. Spektrum światła na tle innych fal elektromagnetycznych i głębokość penetracji światła w skórę

Table 1. Basic terms

Term	Description	Unit	Notes
Wavelength	The distance between the closest peaks of the wave function	Meter (m)	–
Irradiance (irradiation intensity)	Radiation power per unit area	Watt/meter ² (W/m ²)	–
Fluence*	The amount of irradiation energy per unit area in a given time (irradiation in a given time)	Joule/meter ² (J/m ²)	–
Exposure time	Duration of skin irradiation/exposure	Second (s)	Used for devices that emit continuous radiation
Pulse width	Duration of a single pulse of light emitted by the device	Second (s)	Used for devices using pulsed radiation
Beam width, spot size/diameter**	Dimensions defining the area of skin irradiated by the device when the head is stationary / during one pulse	Meter (m)	For devices emitting laser light, it is most often the diameter of a circle, but any other shape is possible
(Light) coherence	Light is coherent when it is of one wavelength, in the same phase, and of the same amplitude	Not applicable	Laser light is coherent
Monochrome	Light is monochromatic when all its wavelengths are the same	Not applicable	
Collimation	The light beam is collimated when its diameter is equal to the distance between the head and the skin, i.e. the light waves are parallel.	Not applicable	Most devices use focused laser light or non-laser light, which means that as the distance of the skin from the head increases, the diameter of the light beam most often increases

*The term "energy density" is very often used in practice in Polish, but it is not unambiguous. It may suggest the amount of energy per volume and not per area. Similarly, the concept of dose used interchangeably with fluency is ambiguous.

**Because the shape and size of the surface illuminated by a light pulse are of key importance for laser therapy, in the article we will often use the practical term of "spot size".

Tabela 1. Podstawowe pojęcia

Pojęcie	Opis	Jednostka	Uwagi
Długość fali	Odległość między najbliższymi szczytami funkcji fali	Metr (m)	–
Irradiancja (<i>irradiance</i> , natężenie napromienienia)	Moc promieniowania przypadająca na jednostkę powierzchni	W/m ²	–
Fluencja (<i>fluence</i>)*	Ilość energii napromienienia przypadająca na jednostkę powierzchni w danym czasie (irradiacja w danym czasie)	J/m ²	–
Czas ekspozycji	Czas trwania naświetlania lub ekspozycji skóry	Sekunda (s)	Stosowany dla urządzeń emitujących ciągłe promieniowanie
Długość impulsu (<i>pulse width</i>)	Czas trwania pojedynczego pulsu światła emitowanego przez urządzenie	Sekunda (s)	Stosowany dla urządzeń stosujących pulsowe promieniowanie
Średnica lub rozmiar wiązki światła; <i>beam width</i> , <i>spot size/diameter</i> **	Wymiary określające obszar naświetlanej skóry przez urządzenie przy nieruchomej głowicy/w trakcie jednego impulsu	Metr (m)	Dla urządzeń emitujących światło laserowe najczęściej jest to średnica koła, ale możliwe są dowolne inne kształty
Koherencja (światła)	Światło jest koherentne, gdy ma tę samą długość fali; fale są w tej samej fazie i mają tę samą amplitudę	Nie dotyczy	Światło lasera jest koherentne
Monochromatyczność	Światło jest monochromatyczne, jeżeli wszystkie jego fale mają tę samą długość	Nie dotyczy	
Kolimacja	Wiązka światła jest skolimowana, gdy jej średnica jest taka sama, niezależnie od odległości głowicy od skóry, czyli fale światła są równoległe	Nie dotyczy	Większość urządzeń wykorzystuje zogniskowane światło laserowe lub światło nielaserowe, co powoduje, że wraz ze wzrostem odległości skóry od głowicy średnica wiązki światła najczęściej ulega powiększeniu

*Termin „gęstość energii” jest w języku polskim bardzo często stosowany w praktyce, ale nie jest jednoznaczny. Może on sugerować ilość energii w objętości, a nie przypadający na powierzchnię. Podobnie używany zamiennie do fluencji termin-pojęcie dawki jest niejednoznaczny.

**Ponieważ dla laseroterapii kluczowe jest, jaki jest kształt i wielkość powierzchni naświetlanej przez impuls światła, w artykule będziemy używać często terminu praktycznego „rozmiar plamki”, z angielskiego „spot size”.

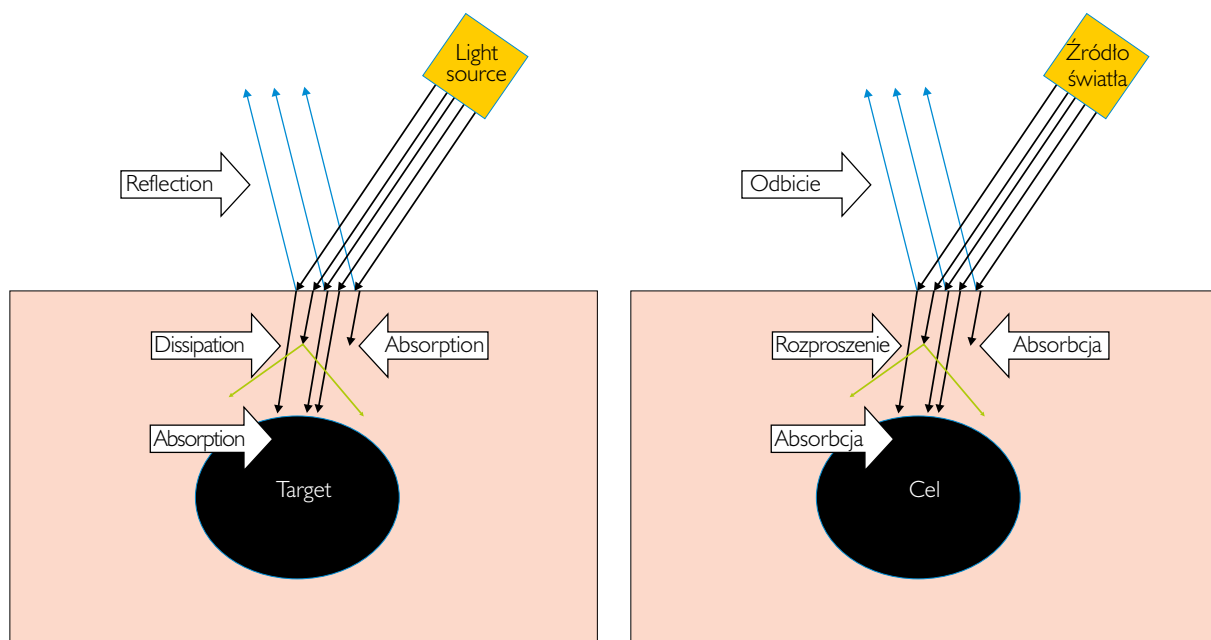


Figure 2. Distribution of energy by the action of light on the skin

*The depth of penetration depends on the size of the spot, fluency, pulse duration, as well as the spatial distribution of chromophores, including (especially for shorter wavelengths) the amount of melanin in the epidermis.

Rycina 2. Rozprzestrzenianie się energii przy działaniu światła na skórę

*Głębokość penetracji zależy od wielkości plamki, fluencji, czasu trwania impulsu, a także od przestrzennego rozłożenia chromoforów, w tym (szczególnie dla krótszych długości fali) od ilości melaniny w naskórku.

tion depth increases with diameter of the spot (laser beam), reaching a plateau between 5 and 10 mm in diameter. These differences may be of high clinical significance, and e.g. for green light with a wavelength of 532 nm, with a small spot (1–3 mm), only the papillary layer can be effectively reached, and with large spots (5–12 mm), vessels in the subcutaneous tissue can be effectively coagulated [4]. Indirect exposure to light can be deepened by a cascade of biological effects (e.g., treatment of psoriasis with UVB) and the dissipation of thermal or mechanical energy.

PHOTO-BIOMODULATION

Photo-biomodulation has been well known in dermatology for many years, as ultraviolet (UV) phototherapy belongs to this group. Ultraviolet in doses used in phototherapy does not cause immediate damage to skin structures, but interacts with proteins, nucleic acids and cells, and this action is multidirectional. At the moment of applying the light does not cause any effects visible to the naked eye. Photo-biomodulation is experiencing a renaissance with the introduction of high-power LED lamps, allowing the use of monochromatic light on large surfaces in effective doses. It is used not only in the treatment of inflammatory diseases, but also in accelerating wound healing or treating skin aging. Primary phenomena of interaction of light energy with the tissue smoothly transform into secondary phenomena related to chemical transformations (e.g., free radicals), energetic transformations (heat energy release), cellular transformations (inflammatory cell apoptosis), etc.

DESTRUCTION AND DAMAGE

As the energy of radiation increases, the way it interacts with tissues changes. At low energies, stimulation of biological processes dominates, while at higher energies their inhibition begins to dominate. Both of these phenomena are part of photo-biomodulation. By increasing the energy further, a tissue is destroyed. Introduction of lasers made it possible to focus high energies and obtain local tissue destruction. In practice, the phenomena of photo-biomodulation and destruction may coexist (fig. 3). Destruction may be non-selective, that is affect all structures exposed to light, or selective – limited to a part of the tissue, appendages, groups of cells, and even cell organelles. The latter process is related to the different absorption of different light wavelengths by chromophores present in the skin, including mainly melanin and heme contained in hemoglobin. This phenomenon has been called a selective photothermolysis. For it to occur, a number of criteria must be met (figs. 4, 5). First of all – wavelength of the light beam must be much more strongly absorbed

Dalszy wzrost długości fali zmniejsza gwałtownie przenikanie i w obrębie dalszej podczerwieni światło zatrzymuje się w naskórku. Dla światła laserowego głębokość wnikania wzrasta wraz ze średnicą plamki (wiązki lasera), osiągając *plateau* przy średnicy pomiędzy 5 a 10 mm. Różnice te mogą być bardzo istotne klinicznie i np. dla światła zielonego o długości fali 532 nm przy małej plamce (1–3 mm) można skutecznie docierać jedynie do warstwy brodawkowatej, a przy dużych plamkach (5–12 mm) można skutecznie koagulować naczynia w tkance podskórnej [4]. Pośrednie działanie światła może być głębsze przez kaskadę efektów biologicznych (np. leczenie łuszczyca z wykorzystaniem UVB) i rozpraszanie energii cieplnej lub mechanicznej.

FOTOBIMODULACJA

Fotobiomodulacja jest dobrze znana w dermatologii od wielu lat, gdyż do tej grupy należy fototerapia z wykorzystaniem ultrafioletu (UV). Ultrafiolet w dawkach stosowanych w światłolecznictwie nie wywołuje natychmiastowego uszkodzenia struktur skóry, tylko oddziałuje z białkami, kwasami nukleinowymi i komórkami, a jego działanie ma wielokierunkowy przebieg. Działanie to w momencie aplikacji światła nie wywołuje widocznych efektów. Fotobiomodulacja przeżywa swój renesans w związku z wprowadzeniem lamp LED o dużej mocy, co pozwala na użycie światła monochromatycznego na duże powierzchnie w efektywnych dawkach i jest wykorzystywana nie tylko w leczeniu chorób zapalnych, lecz także w przyspieszeniu gojenia ran i leczeniu starzenia się skóry. Pierwotne zjawiska oddziaływania energii światła z tkanką przechodzą płynnie we wtórne zjawiska związane z przekształceniami chemicznymi (np. wolne rodniki), energetycznymi (uwalnianie energii cieplnej), komórkowymi (apoptoza komórek zapalnych) itp.

DESTRUKCJA I USZKODZENIE

Wraz ze wzrostem energii promieniowania zmienia się sposób jej oddziaływania z tkanką. Przy niskich energiach przeważa stymulacja procesów biologicznych, przy wyższych zaczyna dominować ich hamowanie. Oba te zjawiska są częścią fotobiomodulacji. Dalsze zwiększanie energii powoduje zniszczenie tkanki. Wprowadzenie laserów pozwoliło na zogniskowanie wysokich energii i uzyskanie miejscowego niszczenia tkanek. W praktyce zjawiska fotobiomodulacji i destrukcji mogą współistnieć (ryc. 3). Destrukcja może mieć charakter nieselektywny, tj. dotyczyć wszystkich struktur, na jakie pada światło, lub wybiórczy, tj. ograniczony do części tkanki, przydatków, grup komórek, a nawet organelli komórkowych. Ten drugi proces związany jest z różną absorpcją różnych długości światła przez obecne w skórze chromofory, w tym głównie przez melaninę i hem zawarty w hemoglobinie. Zjawi-

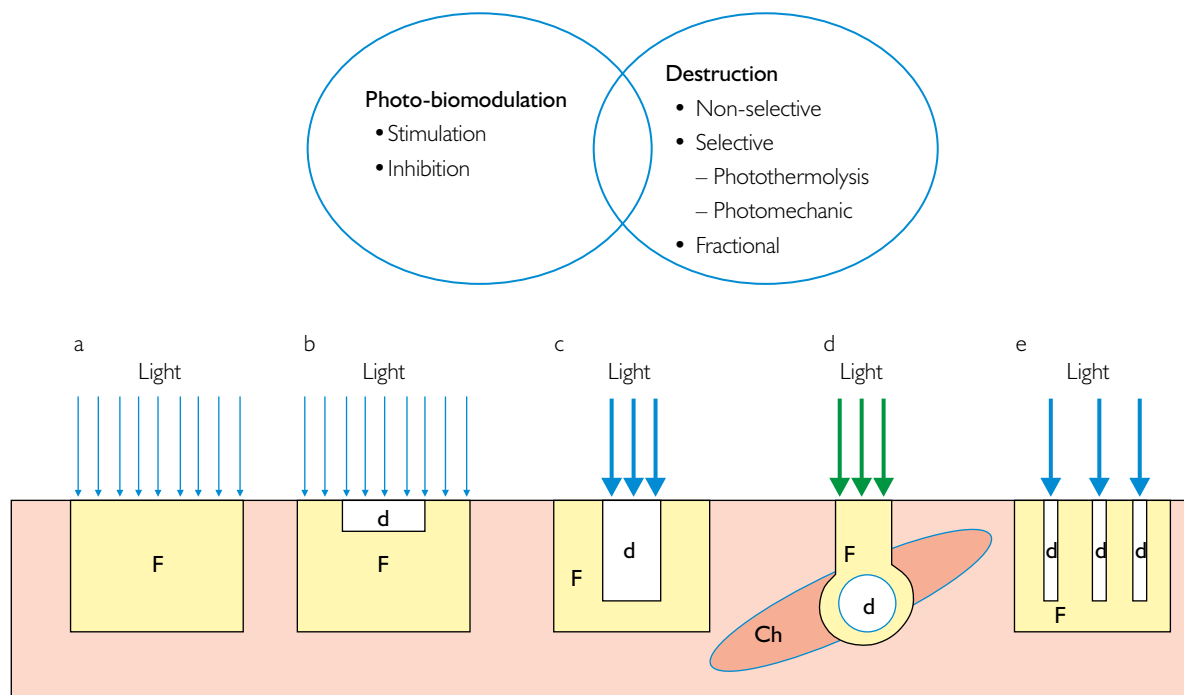
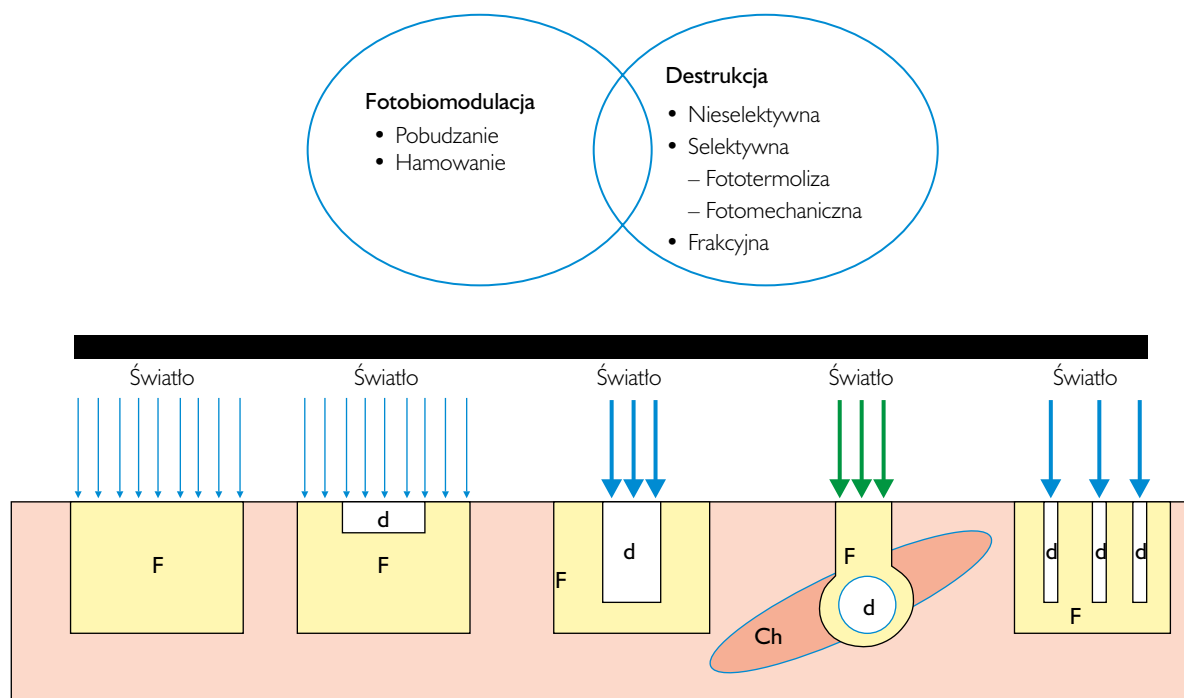


Figure 3. Photo-biomodulation and destruction. Types of effects of light on the skin
 F – photobiomodulation, D – destruction, Ch – chromophore.



Rycina 3. Fotobiomodulacja i destrukcja. Rodzaje oddziaływania światła ze skórą
 F – fotobiomodulacja, D – destrukcja, Ch – chromofor.

by the chromophore than by surrounding structures. The light must also have a sufficiently high fluence and a sufficiently short pulse duration. The latter parameters must be adapted to the size (heat capacity) of the chromophore or the target containing it, and its cooling time, i.e., thermal relaxation, and have to take

sko to zostało nazwane selektywną fototermlizą. Aby do niego doszło, musi być spełniony szereg kryteriów (ryc. 4, 5). Przede wszystkim długość fali strumienia światła musi być zdecydowanie mocniej absorbowana przez chromofor niż przez otaczające struktury. Światło musi mieć też odpowiednio dużą fluencję i odpow-

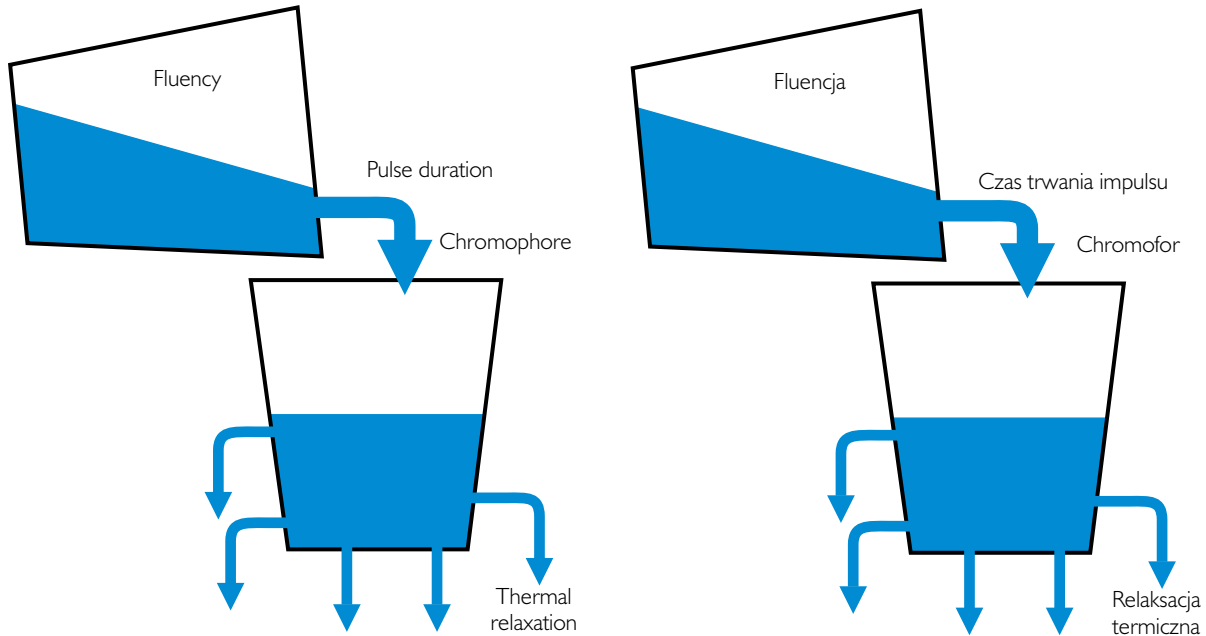


Figure 4. The importance of fluence, pulse duration and thermal relaxation of a chromophore for effective photothermolysis, exemplified by filling a leaky vessel with water

Rycina 4. Znaczenie fluencji, czasu impulsu i relaksacji termicznej chromoforu dla skutecznej fototermolizy na przykładzie napełniania nieszczelnego naczynia wodą

into account the difference between the thermal relaxation time of the chromophore and of surrounding tissues. If a pulse duration of a certain fluence is too long or there is no effective thermal damage, the damage will be non-selective and will affect tissue off-target. Very short pulse durations in nano- and picoseconds are used for very small targets. With reduction of the impulse duration, thermal damage (photothermolysis) is smaller and the mechanical damage associated with photomechanical phenomena begins to dominate [5].

Although water can hardly be called a chromophore, in practice it behaves like one. As it is the basic component of the skin, in order to effectively heat, coagulate or evaporate hydrated tissues (dermis and epidermis), light with high affinity for water is applied, using phenomena characteristic of selective photothermolysis. Other chromophores temporarily or permanently present in the skin include, but are not limited to, cytochrome c, opsonins, bilirubin, hemosiderin, beta carotene, sebum and adipose lipids (table 2).

Tissue destruction may be selective due to fractional laser use (fig. 3 E). In this case, destruction occurs only within columns of a given diameter and depth (the so-called micro thermal zones - MTZ), and the tissue separating them remains undamaged. This facilitates and speeds up regeneration processes, even in the event of deep skin damage that would normally lead to healing with scar formation. Devices operating in this mechanism use a scanner that scatters a beam of light on the skin according to a given pattern, or they have a diffractive lens that divides

wiednio krótki czas impulsu. Te ostatnie parametry muszą być dostosowane do wielkości (pojemności cieplnej) chromoforu lub zawierającego go celu oraz od czasu jego chłodzenia, czyli relaksacji termicznej, oraz uwzględnić różnicę między czasem relaksacji termicznej chromoforu i otaczających tkanek. Jeżeli czas impulsu o określonej fluencji będzie zbyt długi albo nie dojdzie do skutecznego uszkodzenia termicznego, uszkodzenie będzie nieselektywne i obejmie tkankę poza celem. Dla bardzo małych celów wykorzystuje się bardzo krótkie czasy trwania impulsu liczone w nano- i pikosekundach. Wraz ze skracaniem czasu impulsu uszkodzenia termiczne (fototermoliza) są coraz mniejsze, a zaczynają przeważać uszkodzenia mechaniczne związane ze zjawiskami fotomechanicznymi [5].

Mimo że wodę trudno nazwać chromoforem, w praktyce zachowuje się ona w taki sposób. Ponieważ jest to podstawowy składnik skóry, aby skutecznie ogrzać, skoagulować lub odparować uwodnione tkanki (skóra właściwa i naskórek) używa się światła o dużym powinowactwie do wody, wykorzystując zjawiska charakterystyczne dla selektywnej fototermolizy. Do innych chromoforów czasowo lub stale obecnych w skórze należą między innymi: cytochrom c, opsoniny, bilirubina, hemosyderyna, betakaroten, lipidy łoju i tkanki tłuszczowej (tab. 2).

Destrukcja tkanki może mieć charakter wybiórczy w związku z frakcyjnym użyciem lasera (ryc. 3 E). W tym przypadku do zniszczenia dochodzi jedynie w obrębie kolumn o zadanej średnicy i głębokości (tzw. *micro thermal zones* - MTZ), a tkanka je oddzielająca pozostaje niezniszczona. Ułatwia to i przyspiesza procesy

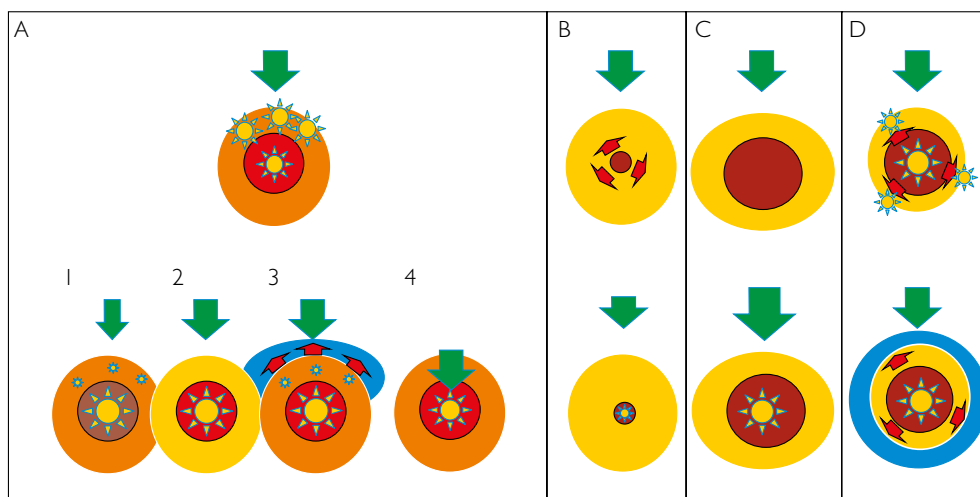
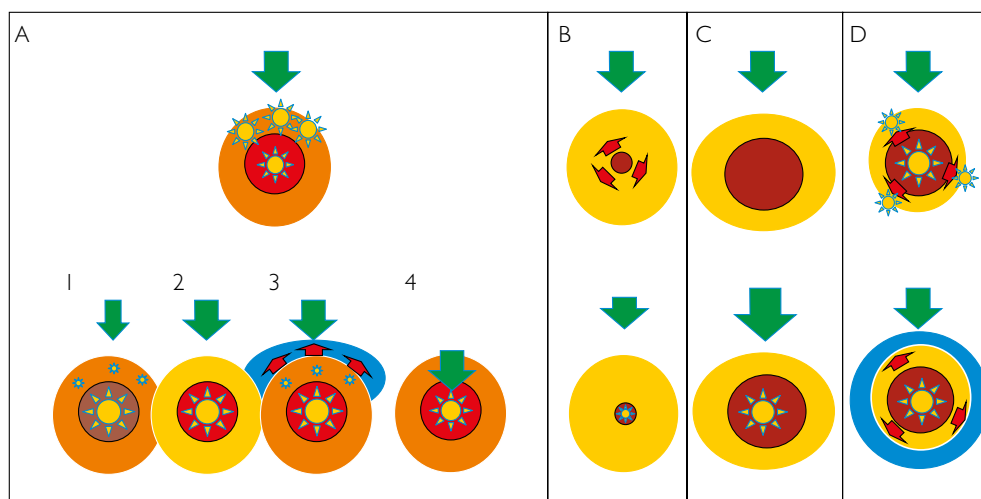


Figure 5. Selected conditions for the occurrence of selective photothermolysis: **A** – In the absence of a clear contrast between the target and the surrounding tissue, both the target and the surrounding tissue are damaged (top row). For selective photothermolysis to occur, you can (bottom row): **1.** Change the color of the chromophore (e.g., exogenous supply of a stain, change from oxyhemoglobin to deoxyhemoglobin) increasing energy absorption by the target. This reduces the fluency and spares surrounding tissues. **2.** Brighten the background color (e.g. exfoliation of a tanned epidermis, vasoconstriction); **3.** Cool the surface – taking energy from the overheated tissue between the target and the skin surface protects it from damage. **4.** Introduce the light source under the skin using an optical fiber – it allows delivery of energy directly to the target, avoiding structures that absorb light better (usually the epidermis rich in melanin). **B** – For a small target, the thermal relaxation time is short and the light pulse is unable to efficiently heat the target, as heat is dissipated during the pulse (top row). To effectively heat the target, shorten the pulse duration and provide energy in time shorter than cooling the target (bottom line). **C** – If the target is large, it may not be efficiently heated with even a long pulse when its fluency is insufficient (top row). Increasing the fluency (bottom row) results in effective selective photothermolysis of the target. **D** – If tissues surrounding the target have insufficient heat capacity (e.g., thin skin above the bone), despite properly selected pulse duration and fluency, surrounding tissues may overheat from the energy given off by the target. In such a situation, the heat capacity of the tissue should be increased by contact cooling (gel, crystal) or effective energy transfer by other type of cooling should be ensured (bottom row)



Rycina 5. Wybrane warunki dla zaistnienia selektywnej fototermolizy. **A** – Przy braku wyraźnego kontrastu między celem a otaczającą tkanką dochodzi do uszkodzenia celu oraz otaczającej tkanki (górnny wiersz). Aby doszło do selektywnej fototermolizy, można (dolny wiersz): **1)** Zmienić kolor chromoforu (np. dostarczenie egzogenne barwnika, zmiana oksyhemoglobiny w deoksyhemoglobinę), zwiększając absorpcję energii przez cel. Pozwala to zmniejszyć fluencję i oszczędzić otaczające tkanki. **2)** Rozjaśnić kolor tła (np. złuszczenie opalonego naskórka, obkurczenie naczyń); **3)** Chłodzić powierzchnię – odebranie energii z przegrzewanej tkanki między celem a powierzchnią skóry chroni ją przed uszkodzeniem. **4)** Wprowadzić źródło światła pod skórę z wykorzystaniem światłowodu – pozwala to dostarczyć energię bezpośrednio do celu, omijając lepiej pochłaniające światło struktury (najczęściej bogaty w melaninę naskórek). **B** – W przypadku małego celu czas relaksacji termicznej jest krótki i puls światła nie jest w stanie skutecznie ogrzać celu, gdyż ciepło ulega rozproszeniu w trakcie trwania impulsu (górnny wiersz). Aby skutecznie podgrzać cel, należy skrócić czas trwania impulsu i dostarczyć energię w czasie krótszym niż schładzanie celu (dolny wiersz). **C** – Jeżeli cel jest duży, może nie zostać skutecznie podgrzany nawet długim impulsem, gdy jego fluencja jest niewystarczająca (górnny wiersz). Zwiększenie fluencji (dolny wiersz) skutkuje skuteczną selektywną fototermolizą celu. **D** – Jeżeli otaczające cel tkanki mają niewystarczającą pojemność cieplną (np. cienka skóra nad kością), pomimo właściwie dobranych długości trwania impulsu i fluencji, może dojść do przegrzania otaczających tkanek nagrzewających się z oddanej przez cel energii. W takiej sytuacji należy powiększyć pojemność cieplną tkanki poprzez chłodzenie kontaktowe (żel, kryształ) lub zapewnić jej skuteczne oddawanie energii przez innego rodzaju chłodzenie (dolny wiersz)

one wide beam of light into a series of smaller ones in a manner similar to the strainer in a watering can.

CLASSIFICATION OF LASERS AND OTHER LIGHT SOURCES

Lasers can be classified according to various criteria. In addition to the previously discussed division into photo-biomodulating devices and devices causing destruction, the classification of lasers according to the wavelength is commonly used. This type of classification is not practical because of huge differences related to other light parameters, including in particular: pulse duration, spot size, fluency or the use of scanners or fractional lenses. For this reason, classification of lasers with regard to the pulse duration is more important (table 3).

In the Guidelines, we adopted the classification of devices depending on the most frequently performed procedures. This section deals with surgical lasers.

regeneracji nawet w przypadku głębokiego uszkodzenia skóry, które normalnie prowadziłyby do gojenia z wytworzeniem blizny. Urządzenia działające w tym mechanizmie wykorzystują skaner rozrzucający promień światła na skórze według zadanego wzoru albo posiadają soczewkę dyfrakcyjną, która dzieli jeden szeroki strumień światła na szereg mniejszych w sposób przypominający działanie sitka w konewce.

PODZIAŁ LASERÓW I INNYCH ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA

Lasery można podzielić według różnych kryteriów. Poza omówionym wcześniej podziałem na urządzenia fotobiomodulujące i wykorzystujące destrukcję powszechnie używa się podziału laserów ze względu na długość fali. Taki podział jest mało praktyczny z powodu ogromnych różnic związanych z innymi parametrami światła, w tym szczególnie: czasem trwania impulsu, wielkością plamki, fluencją i wykorzystaniem skanerów bądź soczewek frakcyj-

Table 2. Permanent or intermittent skin chromophores

Chromophore	Target/tissue	Selectively absorbed wavelengths	Selected devices
Heme/hemoglobin: Oxyhemoglobin Deoxyhemoglobin	RBCs; vascular endothelium indirectly from RBCs	Light from blue to yellow-orange. Peaks of the absorption curve are: 418 nm (blue), 542 nm (green), 577 nm (yellow)	- Argon laser - KTP laser or other 532 nm - PDL laser - 755 nm alexandrite laser - Nd:YAG 1064 nm laser - IPL 500–600 nm
Melanin	Epidermis, hair, iris, melanocytes, melanophages	200–900 nm (ultraviolet > visible light > infrared)	- KTP laser or other 532 nm – for deeper lesions it is possible to use Nd:YAG 1064 nm pico- and nanosecond - IPL 500–600 nm
Water	All skin with appendages and subcutaneous tissue	Infrared	- CO ₂ laser - Laser Nd: YAG 1064 nm - IPL 600 nm*
Adipose tissue	Subcutaneous tissue	1440 nm	- Lasers with subcutaneous applicators (transcutaneous optical fiber) 1440 nm
Sebum	Sebaceous glands	1210 nm; 1726 nm; 1760 nm; 2306 nm; 2346 nm	- 1726 nm laser
Hemosiderin	Dermis	595 nm and 700 nm	- Nano- or picosecond ruby laser 694 nm - 650 nm Nd:YAG nano- or picosecond laser
Opsins	Keratinocytes, melanocytes, fibroblasts, hair follicle stem cells	380–560 nm depending on the type of opsin	- LED - UV lamps - IPL
Cytochrome C oxidase (heme and copper)	Cellular mitochondria	Red light and near infrared (600–1300 nm)	- Red LED - Nd:YAG 1064 nm laser - IPL 600 nm
Bacterial porphyrins	Philosebaceous unit	Blue light	- IPL 420 nm - LED
Bilirubin	Dermis	Ultraviolet	- UV lamps
DNA	Cellular nuclei	Ultraviolet B	- UV lamps; excimer laser

*Since IPL does not emit monochrome light, the indicated wavelength from the short side of the radiation spectrum, i.e., the cut-off point of the filter used in the head or the optimal wavelength range.

Tabela 2. Stale lub okresowo obecne chromofory skóry

Chromofor	Cel lub tkanka	Długości fali światła selektywnie pochłaniane	Wybrane urządzenia
Hem/hemoglobina: Oksyhemoglobina Deoksyhemoglobina	Czerwone krwinki; śródbłonki naczyń pośrednio od krwinek czerwonych	Światło od niebieskiego do żółto- pomarańczowego. Szczyty krzywej absorpcji to: 418 nm (niebieski), 542 nm (zielony), 577 nm (żółty)	- Laser argonowy - Laser KTP lub inny 532 nm - Laser PDL - Laser aleksandrytowy 755 nm - Laser Nd:YAG 1064 nm - IPL 500–600 nm
Melanina	Naskórek, włosy, tęczówka, melanocyty, melanofagi	200–900 nm (ultrafiolet > światło widzialne > podczerwień)	- Laser KTP lub inny 532 nm – dla głębiej położonych zmian możliwe użycie Nd:YAG 1064 nm piko- i nanosekundowego - IPL 500–600 nm
Woda	Cała skóra wraz z przydatkami i tkanką podskórną	Podczerwień	- Laser CO ₂ - Laser Nd:YAG 1064 nm - IPL 600 nm*
Tkanka tłuszczowa	Tkanka podskórna	1440 nm	- Lasery z aplikatorami podskórnymi (przezskórny światłowód) 1440 nm
Łój	Gruzoły łojowe	1210 nm; 1726 nm; 1760 nm; 2306 nm; 2346 nm	- Laser 1726 nm
Hemosyderyna	Skóra właściwa	595 nm i 700 nm	- Laser rubinowy nano- lub pikosekundowy 694 nm - Laser Nd:YAG nano-lub pikosekundowy 650 nm
Opsyny	Keratynocyty, melanocyty, fibroblasty, komórki macierzyste mieszka włosowego	380–560 nm w zależności od typu opsyny	- LED - Lampy UV - IPL
Oksydaza cytochromu c (hem i miedź)	Mitochondria komórek	Światło czerwone i bliska podczerwień (600–1300 nm)	- LED czerwony - Laser Nd:YAG 1064 nm - IPL 600 nm
Porfiryny bakterii	Jednostka włosowo-łojowa	Światło niebieskie	- IPL 420 nm - LED
Bilirubina	Skóra właściwa	Ultrafiolet	- Lampy UV
DNA	Jądra komórek	Ultrafiolet B	- Lampy UV; laser ekscymerowy

*Ponieważ IPL nie emituje światła monochromatycznego, wskazana długość fali od strony krótkiej spektrum promieniowania, czyli punkt odcięcia filtra użytego w głowicy lub optymalny przedział długości fali.

SAFETY

The use of lasers and other light sources is restricted by health and safety regulations, and devices themselves must comply with the authorization requirements for medical tools and devices. It is essential for the patient and operator to understand and apply safety rules for each device. The most common adverse events and prevention measures are summarized in table 4.

Laser therapy and light treatment, like other medical treatments and procedures, must be considered as a process. Even the best-performed procedure with the use of the best device may turn out to be insufficient or dangerous without prior diagnostic procedures, proper qualification, patient preparation, proper peri- and post-operative treatment and possible support treatment.

THE PROCESS OF PHOTO-BIOMODULATION AND DESTRUCTION

The energy of the electromagnetic wave can interact with cells and the extracellular matrix through

ných. Z tego względu podział laserów ze względu na czas trwania impulsu jest bardziej istotny (tab. 3).

W opracowanych wytycznych przyjęliśmy klasyfikację urządzeń w zależności od najczęściej wykonywanych nimi zabiegów. Ta część dotyczy laserów chirurgicznych.

BEZPIECZEŃSTWO

Użycie laserów i innych źródeł światła jest ograniczone przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy, a same urządzenia muszą spełniać wymogi rejestracji dla narzędzi i urządzeń medycznych. Kluczowe dla pacjenta i operatora jest poznanie i stosowanie zasad bezpieczeństwa w przypadku każdego z urządzeń. Najczęstsze zdarzenia niepożądane i sposoby zapobiegania zostały przedstawione w tabeli 4.

Laseroterapia i leczenie światłem, podobnie jak inne zabiegi i procedury medyczne, musi być traktowane jako proces. Nawet najlepiej wykonany zabieg z użyciem najlepszego urządzenia może okazać się niewystarczający lub niebezpieczny bez ustalenia

Table 3. Classification of lasers in regard to pulse duration

Pulse duration	Mechanism	Application	Notes	Sample devices
Continuous	Bio-modulating	Stimulation and inhibition of biological processes Modification of protein and lipid structures	UV phototherapy belongs to this group	LED lamps Lasers (different wavelengths) Excimer lamps UV lamps
	Destructive (ablative, coagulating)	Dermatosurgery	In practice, pulse therapy is often used for better ablation control	CO ₂ laser Erb:YAG laser
	Photodynamic therapy	Skin cancer (selected cases) Acne (supporting method) Port wine stain	Endogenous PDT uses bacterial porphyrins as a photosensitizer	LED lamps Lasers (different wavelengths)
Millisecond (1–150 ms)	Selective photothermolysis	Treatment of vascular lesions Treatment of hyperpigmentation lesions (mainly epidermal lesions) Epilation Treatment of acne	The largest group of devices. The range of 1–150 ms is in practice very large and determines the biological effect	PDL IPL Nd:YAG 532/1064 Alexandrite laser
	Nonspecific heating – effect on connective tissue fibers	Increasing skin tension by constricting collagen fibers and causing swelling	Non-selective and of limited effectiveness	IPL
	Photodynamic therapy	Port wine stains Acne		IPL LED laser
Microsecond (tenths of a millisecond)	Like millisecond (except for photodynamic therapy)	Like millisecond	Sealing larger vessels requires a very high fluency	Nd:YAG 1064 532 nm lasers
Nanosecond	Selective photothermolysis and selective photoacoustic destruction	Removal of tattoos, removal of pigmented lesions	Higher fluences are used than in picosecond lasers	Nd:YAG 532/1064
Picosecond	Selective photoacoustic destruction and selective photothermolysis	As for nanosecond lasers	Lower fluences are used, usually in the range of 0.2–4 J/cm ²	Nd:YAG 532/1064

stimulation or inhibition. If the radiation energy is high enough, some parts (selective destruction) or the whole skin (non-selective destruction) may be destroyed or damaged. Processes of biomodulation and destruction often coexist with each other:

- photo-biomodulation (F) with no destruction;
- if an overdose of delivered energy occurs during the procedure aimed at photo-biomodulation, local destruction may occur (D);
- non-selective destruction of all exposed structures; photo-biomodulation phenomena occur on the periphery of destruction;
- selective destruction using the phenomenon of selective photothermolysis; light of an appropriate wavelength is absorbed mainly by the chromophore (Ch) and destruction takes place within it; peripherally from the destruction zone and on the path of light to the chromophore, photo-biomodulation phenomena may occur;
- fractional skin destruction: skin destruction has the character of columns of destruction, separated by undamaged zones, where photo-biomodulation can take place.

rozpoznania, właściwej kwalifikacji, przygotowania pacjenta, właściwego postępowania około- i pozabiegowego oraz ewentualnego stosowania leczenia towarzyszącego.

PROCESY FOTOBIMODULACJI I DESTRUKCJI

Energia fali elektromagnetycznej może oddziaływać z komórkami i macierzą zewnątrzkomórkową poprzez pobudzanie lub hamowanie. Jeżeli energia promieniowania jest odpowiednio duża, może dochodzić do zniszczenia lub uszkodzenia części (destrukcja selektywna) lub całej skóry (destrukcja nie-selektywna). Procesy biomodulacji i destrukcji często współistnieją ze sobą:

- fotobiomodulacja (F) bez destrukcji;
- jeżeli dojdzie do przedawkowania dostarczonej energii w trakcie zabiegu mającego na celu fotobiomodulację, to może dojść do miejscowej destrukcji (D);
- nieselektywna destrukcja wszystkich naświetlonych struktur; na obrzeżach destrukcji dochodzi do zjawisk fotobiomodulacji;

Tabela 3. Podział laserów ze względu na czas trwania impulsu

Czas trwania impulsu	Mechanizm	Zastosowanie	Uwagi	Przykładowe urządzenia
Ciągłe	Biomodulujące	Stymulacja i hamowanie procesów biologicznych Modyfikowanie struktur białkowych i lipidowych	Do tej grupy zalicza się fototerapia UV	Lampy LED Lasery (różne długości fali) Lampy ekscymerowe Lampy UV
	Destrukcyjne (ablacyjne, koagulacyjne)	Dermatochirurgia	W praktyce używa się często leczenia pulsacyjnego dla lepszej kontroli ablacji	Laser CO ₂ Laser Erb:YAG
	Terapia fotodynamiczna	Nowotwory (wybrane przypadki) Trądzik (leczenie uzupełniające) Malformacje naczyń kapilarnych	Endogenna PDT wykorzystuje porfiryny bakterii jako fotouczulacz	Lampy LED Lasery (różne długości fali)
Milisekundowe (1–150 ms)	Selektywna fototermoliza	Leczenie zmian naczyniowych Terapia zmian z hiperpigmentacją (głównie zmiany naskórkowe) Epilacja Leczenie trądziku	Największa grupa urządzeń. Przedział 1–150 ms jest w praktyce bardzo duży i warunkuje efekt biologiczny	PDL IPL Nd:YAG 532/1064 Laser aleksandrytowy
	Niespecyficzne podgrzewanie – wpływ na włókna tkanki łącznej	Zwiększenie napięcia skóry przez obkurczanie włókien kolagenowych i wywoływanie obrzęku	Nieselektywne i o ograniczonej skuteczności	IPL
	Terapia fotodynamiczna	Malformacje naczyń kapilarnych, trądzik (leczenie wspomagające)		IPL Laser diodowy
Mikrosekundowe (dziesiąte części milisekundy)	Podobnie jak milisekundowe (poza PDT)	Podobnie jak milisekundowe	Zamykanie większych naczyń wymaga bardzo wysokiej fluencji	Nd:YAG 1064 Lasery 532 nm
Nanosekundowe	Selektywna fototermoliza i selektywne fotoakustyczne zniszczenie	Usuwanie tatuaży, usuwanie zmian barwnikowych	Używa się wyższych fluencji niż w laserach pikosekundowych	Nd:YAG 532/1064
Pikosekundowe	Selektywne fotoakustyczne zniszczenie i selektywna fototermoliza	Jak dla laserów nanosekundowych	Używa się niższych fluencji, zwykle w przedziale 0,2–4 J/cm ²	Nd:YAG 532/1064

To effectively fill a leaky bucket with water, you need to have a sufficient amount of water (fluency) and pour it faster (pulse duration) than the water flows out from the bucket (thermal relaxation). Alternatively, a series of smaller pulses may be used quickly applied one after another.

APPLICATION OF LASERS IN DERMATOSURGERY

Due to the technological progress, treatments with the use of lasers are more and more often an alternative to traditional treatment methods in dermatosurgery. Due to the fact that in most cases, when performing this procedure, we are not able to obtain tissue material for histopathological examination, it should be emphasized that laser therapy is primarily

- d) selektywna destrukcja wykorzystująca zjawisko selektywnej fototermolizy; światło o odpowiedniej długości jest pochłaniane głównie przez chromofor (Ch) i w jego obrębie dochodzi do destrukcji; obwodowo od strefy destrukcji i na drodze światła do chromoforu może dochodzić do zjawisk fotobiomodulacji;
- e) frakcyjna destrukcja skóry: zniszczenie skóry ma charakter kolumn destrukcji, rozdzielonych strefami nieuszkodzonymi, gdzie może dochodzić do fotobiomodulacji.

Aby skutecznie napelnić dziurawe wiadro wodą, należy mieć dostatecznie dużą ilość wody (fluencja) i nalać ją szybciej (czas trwania impulsu) niż woda wylewa się z wiadra (relaksacja termiczna). Alternatywnie można użyć serii mniejszych impulsów odpowiednio szybko zaaplikowanych po sobie.

Table 4. Common adverse events of laser treatments not directly related to the purpose of the treatment and means of prevention

Adverse events	Unplanned target	Prevention
Ignition/explosion/fire	Hair Surgical field lining and dressings Disinfectants Preparations for anesthesia Gases from the digestive tract Distant objects	Proper protection of the operating field with non-flammable/flame-retardant materials. For lasers using visible light, white facings are recommended Using no alcohol-based preparations Using no ethyl chloride Careful work around the anus Particular care should be taken with collimated beams
Eye injuries: - Direct laser action - Indirectly due to pressure or overheating of eye pads	Corneal damage Iris damage Retinal damage Eyelid damage Conjunctival injuries	Eye protection adapted to the wavelength and fluency for all people present in the room Adjusting the size of protection
Burns related to the chromophore near/ in the treatment area not intended by the operator	Damage to a nearby vessel Tattoo/permanent makeup Makeup Self-tanner	Compression/bypass Tattoo protection with a cover Make-up removal Delaying the procedure
Burns to the operator's/assistant's skin or the patient's burn of a site distant from the treatment site	The skin outside the operating field	When using a surgical laser for cutting, proper protection of the outgoing beam Perpendicular positioning of the head Proper work organization
Electric shock	Patient/assistant/operator	Pay attention to fluid leaks from equipment and the condition of power cables

Tabela 4. Często zdarzenia niepożądane zabiegów laserowych niezwiązane bezpośrednio z celem zabiegu i sposoby zapobiegania im

Zdarzenia niepożądane	Nieplanowany cel	Zapobieganie
Zapłon/wybuch/pożar	Włosa Okładzina pola operacyjnego i opatrunki Preparaty do dezynfekcji Preparaty do znieczuleń Gazy z przewodu pokarmowego Odległe przedmioty	Właściwe zabezpieczenie pola operacyjnego niepalnymi lub trudnopalnymi materiałami. W przypadku laserów wykorzystujących światło widzialne zalecane białe okładziny Niestosowanie preparatów na bazie alkoholu Niestosowanie chlorku etylu Ostrożna praca w okolicy odbytu Szczególna ostrożność wskazana przy wiązkach skolimowanych
Uszkodzenia narządu wzroku: - Bezpośrednie działanie lasera - Pośrednio przez ucisk lub przegrzanie nakładek nagałkowych	Uszkodzenia rogówki Uszkodzenia tęczęwki Uszkodzenia siatkówki Uszkodzenia powieki Uszkodzenia spojówki	Ochrona oczu dla wszystkich osób obecnych w pomieszczeniu dostosowana do długości fali i fluencji Dostosowanie rozmiaru ochrony
Oparzenia związane z chromoforem w pobliżu lub w polu zabiegu nieuwzględnionym przez operatora	Uszkodzenie pobliskiego naczynia Tataż lub makijaż permanentny Makijaż Samoopalacz	Uciśnięcie lub ominięcie Zabezpieczenie tatuażu osłoną Demakijaż Odroczenie zabiegu
Oparzenie skóry operatora lub asysty albo odległe od miejsca zabiegu oparzenie pacjenta	Skóra poza polem operacyjnym	Przy stosowaniu lasera chirurgicznego do cięcia właściwe zabezpieczenie wiązki wychodzącej Prostopadłe ustawienie głowicy Właściwa organizacja pracy
Porażenie prądem	Pacjent lub asysta, lub operator	Zwracanie uwagi na wycieki płynów z urządzeń i stan przewodów zasilających

used to remove benign skin lesions. In oncological dermatosurgery, it is only an auxiliary or next-line treatment, or it can be used in combination therapies. An example of combined techniques is the use of photodynamic therapy (PDT) after biopsy and CO₂

ZASTOSOWANIE LASERÓW W DERMATOCHIRURGII

Ze względu na postęp technologiczny zabiegi z wykorzystaniem laserów coraz częściej stanowią

laser. The use of combination therapy allows for, among others, removal of superficial basal cell carcinomas and Bowen's disease.

A surgical laser is a laser that cuts or destroys tissue by vaporizing, ablating, or coagulating it. Its operation and applications overlap in many respects with electrocoagulation. Unlike electrocoagulation, there is no contact between the device and the tissue. Depending on the parameters used, especially irradiance (W/cm^2), this knife is either "sharper" (higher irradiance) or behaves like a tissue coagulation device (lower irradiance). Typically, these devices emit a narrow beam with a constant diameter (size of the spot). Therefore, only power (W) is regulated in practice. An experienced operator can change the spot size and irradiation by changing the distance of the probe tip from the skin surface, taking advantage of the divergent nature of a laser beam focused by the lens. In dermatosurgery, mainly the 10600 nm CO_2 laser and, to a much lesser extent, the Er:YAG (Erb-Yag) 2940 nm laser are used.

CO_2 laser

CO_2 laser with a wavelength of 10,600 nm is the basic dermatosurgical laser, often replacing the scalpel. Treatments with its use can be minimally invasive. It is possible to remove multiple lesions during one treatment and it is possible to treat lesions in difficult locations. This laser can work in a continuous and pulsed mode, and water contained in tissues is the target chromophore. In the case of continuous work, skin surface is brought to the temperature of 120–200°C. The effect of this action is to induce a controlled and limited thermal damage to the skin by evaporation, coagulation, ablation and carbonization of the tissue surface. Despite shallow penetration of laser radiation, up to 20 μm , coagulation occurs even to a depth of 0.5 to 1 mm due to thermal conductivity of tissues. The zone of thermal damage depends on duration of exposure to laser radiation. With a continuous movement of the laser beam over the lesion being removed, this allows precise control of depth of evaporated tissue. Depending on the size of the lesion to be removed, the procedure is performed continuously in the case of elevated lesions with keratinized surfaces and benign pedunculated tumors.

The ultrapulse mode allows control of depth of tissue removal after each passage of the radiation beam. Performing treatments with this method allows:

- effective removal of pathological tissue with minimal damage to the surrounding area, causing minor damage to deeper cells,
- precise removal of pathological tissue,
- minimal bleeding and good visibility of the treatment site.

alternatywę dla tradycyjnych metod zabiegowych stosowanych w dermatochirurgii. Z uwagi na fakt, że w większości przypadków, wykonując ten zabieg, nie jesteśmy w stanie uzyskać materiału tkankowego do badania histopatologicznego, należy podkreślić, że laseroterapia jest stosowana przede wszystkim do usuwania łagodnych zmian skórnych. W dermatochirurgii onkologicznej ma jedynie znaczenie pomocnicze lub jest leczeniem kolejnego wyboru albo może być stosowana w terapiach łączonych. Przykładem technik łączonych jest wykorzystanie terapii fotodynamicznej (*photodynamic therapy* - PDT) po wykonanej biopsji i leczeniu laserem CO_2 . Stosowanie leczenia skojarzonego pozwala m.in. na usuwanie powierzchniowych raków podstawnokomórkowych i choroby Bowena.

Laser chirurgiczny to laser, który służy do cięcia lub zniszczenia tkanki przez jej odparowanie, ablację lub koagulację. W wielu aspektach jego działanie i zastosowania pokrywają się z elektrokoagulacją. W odróżnieniu od elektrokoagulacji nie występuje kontakt urządzenia z tkanką. W zależności od zastosowanych parametrów, w tym szczególnie irradiancji (W/cm^2), nóż ten jest „ostrzejszy” (wyższa irradiancja) lub zachowuje się jak urządzenie do koagulacji tkanek (niższa irradiancja). Zwykle urządzenia te emitują wąską wiązkę o stałej średnicy (wielkości plamki). Dlatego też w praktyce reguluje się jedynie moc (W). Doświadczony operator może zmieniać wielkość plamki i irradiancję przez zmianę odległości końcówki głowicy od powierzchni skóry, wykorzystując rozbieżny charakter zogniskowanej przez soczewkę wiązki lasera. W dermatochirurgii wykorzystuje się głównie laser CO_2 10 600 nm i w znacznie mniejszym stopniu laser Er:YAG (erbowo-yagowy) 2940 nm.

Laser CO_2

Laser CO_2 o długości fali 10 600 nm to podstawowy laser dermatochirurgiczny, który niejednokrotnie zastępuje skalpel. Zabiegi z jego użyciem mogą być mało inwazyjne. Możliwe jest usunięcie wielu zmian podczas jednego zabiegu i leczenie zmian w trudnych lokalizacjach. Laser ten może pracować w trybie ciągłym i pulsacyjnym, a chromoforem docelowym jest woda tkankowa. W przypadku pracy ciągłej temperatura powierzchni skóry doprowadzona jest do 120–200°C. Efektem tego działania jest wywołanie kontrolowanego i ograniczonego termicznego uszkodzenia skóry poprzez odparowanie, koagulację, ablację i zwęglenie powierzchni tkanki. Pomimo płytkiego wnikania promieniowania lasera do 20 μm , uszkodzenie koagulacyjne ze względu na przewodnictwo cieplne tkanek następuje nawet do głębokości 0,5 do 1 mm. Strefa uszkodzenia termicznego zależy od czasu ekspozycji na promieniowanie laserowe, co przy ciągłym przesuwaniu promienia laserowego nad usuwaną zmianą umożliwia dokładne kontrolowanie głębokości

CO₂ laser, when cutting or vaporizing skin lesions, coagulates small blood and lymph vessels. However, it is not suitable for the coagulation of larger vessels. This fact has to be taken into account when planning a surgical procedure.

Er:YAG laser

Er:YAG laser (Erbium:YAG) 2940 nm is an alternative to the CO₂ laser. Most devices using this length of light have a narrower application because it is more difficult to vaporize tissue and remove larger and deeper lesions with them.

Surgical lasers are suitable for the evaporation or ablation of epidermal lesions, regardless of their color. They are used in the treatment of, among others: lentil spots, seborrheic warts, viral warts, and actinic keratosis. These types of lesions can usually be removed without leaving any permanent traces, although depending on the location and nature of the lesion, temporary or long-term complications in the form of discoloration or post-inflammatory erythema may occur. When treating lesions located in the dermis, especially when their size exceeds 1 mm, scar formation is inevitable, although scars are often smaller or similar to those resulting from application of alternative surgical methods (scalpel, electrocoagulation, cryotherapy). When treating deeper lesions, for greater precision and visibility of the surgical field, irradiation is used to evaporate or remove higher positioned lesions, so to avoid creation of carbonization and coagulation zones, that contribute to delayed healing, discoloration and excessive scarring.

INDICATIONS FOR LASER THERAPY IN DERMATOSURGERY

Indications for the use of surgical lasers are extensive. The most common ones are listed in table 5. For some of these indications, laser remains one of the first-choice methods, for others it is an alternative treatment. Indications in the field of treatment of hyperpigmentation and vascular changes, scar treatment and aesthetic medicine will be discussed in more detail in separate sections of these Recommendations. Similarly, a discussion of the operation of the CO₂ and Er:YAG laser in fractional mode will be discussed in the sections on scar therapy, photorejuvenation and inflammatory diseases.

Seborrheic warts

Seborrheic warts are one of the most common benign skin tumors originating from the epidermis. Laser therapy is an alternative to curettage, cryotherapy and electrocoagulation and in many cases may be the method of choice. Surgical lasers are used in laser therapy. In ad-

odparowanej tkanki. W zależności od wielkości usuwanej zmiany zabieg wykonuje się w trybie ciągłym w przypadkach zmian wyniosłych o rogowaciejącej powierzchni oraz łagodnych uszypułowanych guzów.

Tryb ultrapuls pozwala na kontrolowanie po każdym przejściu wiązki promieniowania głębokości usunięcia tkanki. Wykonywanie zabiegów tą metodą pozwala na:

- skuteczne usuwanie tkanki chorobowej z minimalnym uszkodzeniem okolicy zmiany, co powoduje niewielkie uszkodzenia komórek głębiej leżących,
- precyzyjne usunięcie tkanki zmienionej chorobowo,
- wykonanie zabiegu z minimalnym krwawieniem, co zapewnia dobrą widoczność miejsca zabiegowego.

Laser CO₂ przy cięciu lub odparowywaniu zmian skórnych koaguluje drobne naczynia krwionośne i chłonne. Nie nadaje się jednak do koagulacji większych naczyń, co trzeba uwzględnić w planowaniu zabiegu chirurgicznego.

Laser Er:YAG

Laser Er:YAG (erbowo:yagowy) 2940 nm jest alternatywnym urządzeniem do lasera CO₂. Większość urządzeń wykorzystujących tę długość światła ma węższe zastosowanie ze względu na to, że trudniej jest nimi odparowywać tkankę oraz usuwać większe i głębsze zmiany.

Lasery chirurgiczne nadają się do odparowania lub ablacji zmian naskórkowych, niezależnie od ich koloru, co wykorzystuje się w leczeniu m.in. plam soczewicowatych, brodawek łojotokowych, brodawek wirusowych, rogowacenia słonecznego. Zmiany tego typu można zwykle usunąć bez trwałych śladów, choć w zależności od lokalizacji i charakteru zmiany mogą wystąpić przejściowe lub długotrwałe powikłania w postaci przebarwień, odbarwień lub rumienia pozapalnego. Przy leczeniu zmian zlokalizowanych w skórze właściwej, szczególnie gdy rozmiar ich przekracza 1 mm, nieuniknionym efektem jest wytworzenie blizny, choć często mniejszej lub podobnej dla tych uzyskiwanych w alternatywnych metodach chirurgicznych (skalpel, elektrokoagulacja, krioterapia). Przy leczeniu głębszych zmian dla większej precyzji i widoczności pola operacyjnego używa się irradiancji umożliwiającej odparowanie lub usuwanie wyżej położonych zmian tak, aby unikać powstawania strefy zwęglenia i koagulacji, które to sprzyjają opóźnieniu gojenia, przebarwieniom i nadmiernemu bliznowaceniu.

WSKAZANIA DO LASEROTERAPII W DERMATOCHIRURGII

Wskazania do stosowania laserów chirurgicznych są rozległe. Najczęstsze zostały umieszczone w tabeli 5. Dla części z tych wskazań laser jest jedną z metod pierwszego wyboru. Wskazania z zakresu terapii

Table 5. Selected indications for CO₂ laser treatment (variable strength of recommendation)

Disease	Notes
Soft fibroma	Tangential section or ablation
Seborrheic warts	Depending on the size (thickness) and location of lesions, treatment may result in temporary post-inflammatory erythema, temporary discoloration, and even a superficial scarring (especially on the trunk)
Hypertrophy of the sebaceous glands (sebaceous hyperplasia)	Common relapses
Hypertrophic and atrophic scars	Fractional laser ablation monotherapy
Keloids	Ablation or fractional laser always in combination therapy
Rhinophyma	As an alternative to surgery or electrosurgery in combination or sequentially with pharmacotherapy
Bowen's disease	Alternative treatment: CO ₂ laser monotherapy. Higher efficiency when combined with photodynamic therapy [14, 23, 24]
Darier's disease and Hailey-Hailey disease	Dermaparabration with a CO ₂ laser or a fractional laser [15]
Skin lymphocytoma	Laser CO ₂ after a previous biopsy
Linear papillary epidermal moles	Possible relapses, ablation of exophytic lesions [16]
Lichen sclerosus	CO ₂ , fractional laser and PDT
Melanoacanthoma	Histopathology examination necessary in doubtful cases
Leyomyomas	Ablation with CO ₂ laser
Neurofibromatosis	Ablation of skin neurofibromas [17]
Cherry angiomas	Alternative treatment to vascular lasers especially for elevated lesions
Lymphangiomas	Treatment of choice for minor and superficial lesions
Angiokeratoma	Ablation
Vascular granuloma	Attention should be paid to reduction of bleeding during the procedure – rapid outflow of blood prevents coagulation by the laser
Basal cell carcinoma	Always after histological examination (regardless of dermoscopy). Alternative treatment for the superficial variant, especially in combination with photodynamic therapy [18, 19]
Keratoacanthoma	Alternative CO ₂ laser treatment followed by "fusiform" biopsy or another one that guarantees confirmation of the diagnosis [20]
Actinic keratosis	CO ₂ laser or CO ₂ fractional laser alone or in combination (e.g., with PDT) [21, 22]
Cutaneous horn	CO ₂ laser after a previous biopsy
Angiofibromas (Bourneville-Pringle disease) and Koenen nodules secondary to tuberous sclerosis	Alone or in combination with pharmacotherapy
Nodular scabies	Alternative treatment of single lesions
Epidermal cysts	CO ₂ laser
Limited scleroderma	Fractional CO ₂ in the treatment of post-inflammatory hyperpigmentation after effective treatment of the active phase of the disease
Common warts, feet warts, flat warts and anogenital warts	Ablation
Dermatofibroma	Common relapses
Xanthelasma	Low invasiveness but possible relapses
Syringoma	Lesion ablation
Circumcision or labiaplasty	Using a laser as a knife: an alternative to surgery and electrosurgery

MTZ – micro thermal zones, PDT – photodynamic therapy.

dition to surgical lasers – CO₂ and Er:YAG – non-selectively destroying the epidermis, surgical lasers or lasers with a greater preference for melanine, with a long pulse duration (e.g. PDL (pulsed dyed laser), KTP (Potassium-Titanyl-phosphate laser) 532 nm, alexandrite, LED) and nano and picosecond lasers for flat lesions.

The first laser used to remove seborrheic warts was the CO₂ laser. In 1994, Fitzpatrick *et al.* used the CO₂ laser to remove 690 seborrheic warts, achieving complete resolution of skin lesions in all cases, leaving minimal, flat scars [6]. Gurel *et al.* compared effective-

zmian hiperpigmentacyjnych, naczyniowych, leczenia blizn i medycyny estetycznej zostaną szerzej omówione w odrębnych częściach rekomendacji. Podobnie omówienie działania lasera CO₂ i Er:YAG w trybie frakcyjnym zostanie omówione w częściach poświęconych terapii blizn, fotoodmładzania i chorób zapalnych.

Brodawki łojotokowe

Brodawki łojotokowe to jedne z najczęstszych łagodnych nowotworów skóry wywodzących się z naskórka. Laseroterapia jest alternatywą dla łyżecz-

Tabela 5. Wybrane wskazania do leczenia laserem CO₂ (różny poziom rekomendacji)

Jednostka chorobowa	Uwagi
Włókniaki miękkie	Ścięcie styczne lub ablacja
Brodawki łojotokowe	W zależności od wielkości (grubości) i lokalizacji zmian leczenie może skutkować przejściowym rumieniem pozapalnym, przejściowym lub czasowym odbarwieniem, a nawet powierzchowną blizną (szczególnie na tułowiu)
Przerost gruczołów łojowych	Częste nawroty
Blizny przerosłe i zanikowe	Lasery frakcyjne ablacyjne w monoterapii
Bliznowce	Ablacja lub laser frakcyjny zawsze w leczeniu skojarzonym
Guzowatość nosa	Alternatywnie do chirurgii lub elektrochirurgii w skojarzeniu lub sekwencyjnie z farmakoterapią
Choroba Bowena	Leczenie alternatywne: laser CO ₂ w monoterapii. Wyższa skuteczność przy połączeniu z terapią fotodynamiczną [14, 23, 24]
Choroba Dariera i choroba Haileya-Haileya	Dermabrazja laserem CO ₂ lub laserem frakcyjnym [15]
Limfocytoma	Laser CO ₂ po uprzednim badaniu histologicznym
Zapalne linijne brodawkowate znamię naskórkowe	Możliwe nawroty, ablacja egzofitycznych zmian [16]
Liszaj twardzinowy	Laser CO ₂ frakcyjny i PDT
<i>Melanoacanthoma</i>	Niezbędna histopatologia w wątpliwych przypadkach
Mięśniaki gładkie	Ablacja laserem CO ₂
Nerwiakowłókniakowatość	Ablacja nerwiakowłókniaków skóry [17]
Naczyniaki rubinowe	Leczenie alternatywne do laserów naczyniowych, szczególnie dla wyniosłych zmian
Naczyniaki limfatyczne	Leczenie z wyboru dla niewielkich i powierzchownych zmian
Rogowiec krwawy	Ablacja
Ziarniniak naczyniowy	Należy zwrócić uwagę na ograniczenie krwawienia przy zabiegu – szybki wypływ krwi uniemożliwia koagulację laserem
Rak podstawnokomórkowy	Zawsze po badaniu histologicznym (niezależnie od dermoskopii). Leczenie alternatywne dla powierzchownej odmiany, szczególnie w połączeniu z terapią fotodynamiczną [18, 19]
Rogowiak kolczystokomórkowy	Alternatywne leczenie laserem CO ₂ z poprzedzającą biopsją dającą gwarancję potwierdzenia rozpoznania [20]
Rogowacenie słoneczne	Laser CO ₂ lub laser frakcyjny CO ₂ w monoterapii lub w połączeniu (np. z PDT) [21, 22]
Róg skórný	Laser CO ₂ po uprzednim badaniu histologicznym
Naczyniakowłókniaki (choroba Bourneville'a-Pringle'a) i guzki Koenena w przebiegu stwardnienia guzowatego	W monoterapii lub skojarzeniu z farmakoterapią
Świerzbiczka guzkowa	Leczenie alternatywne pojedynczych zmian
Torbiele naskórkowe	Laser CO ₂
Twardzina ograniczona	CO ₂ frakcyjny, w leczeniu przebarwienia pozapalnego po skutecznym leczeniu aktywnej fazy choroby
Brodawki zwykłe, stóp, płaskie i kłykcinę kończyste	Ablacja
Dermatofibroma	Częste nawroty
Kępki żółte powiek	Mała inwazyjność, ale możliwe nawroty
Gruczolak potowy	Ablacja zmian
Obrzezanie lub plastyka warg sromowych	Użycie lasera jako noża: alternatywa dla chirurgii i elektrochirurgii

MTZ – micro thermal zones, PDT – terapia fotodynamiczna.

ness of the Er:Yag laser with cryosurgery and showed that the use of laser allows for complete removal of lesions during one procedure, and the risk of post-inflammatory discoloration is significantly lower compared to cryosurgery [7]. On the other hand, a study comparing the effectiveness of an Er:Yag laser to a CO₂ laser showed a similar effectiveness [8].

kowania, krioterapii i elektrokoagulacji i w wielu przypadkach może być metodą z wyboru. W laseroterapii stosuje się lasery chirurgiczne, a poza laserami chirurgicznymi (CO₂ i Er:YAG) nieselektywnie niszczące naskórek, lasery chirurgiczne lub lasery o większej preferencji do melaniny o długim czasie impulsu [np. PDL (*pulsed dyed laser*), KTP (laser potasowo-tytanowo-

Benign papillomas

Since in most cases the diagnosis of benign nature of lesions is certain on the basis of their clinical presentation, both ablation and tangential section of the lesion is possible. For larger lesions, tangential section is preferred due to the smaller thermal damage to the base of the lesion.

Viral warts

Viral warts are skin lesions caused by HPV, located on both the smooth skin and mucous membranes. Laser therapy is one of the options in their treatment. In addition to surgical lasers, also vascular lasers are used: PDL, Nd:Yag 1064 nm and 532 nm. The CO₂ laser has been used for the longest time in this indication. It can remove viral warts by two mechanisms. First, when the laser beam is focused it can be used as a scalpel for hemostatic excision of a wart. Scattered beam evaporates or ablates the HPV-infected epidermal layer.

CO₂ laser treatment may be the first choice for periungual viral warts. Lim and Goh observed elimination of 80% of lesions already after the first treatment. However, it should be emphasized that such treatment is associated with possible adverse effects, such as: damage to the nail matrix, scarring, distal onycholysis and thickening of the nail plate [9]. When treating viral warts located on smooth skin with a CO₂ laser, the following side effects can be observed: scarring, hypopigmentation, pain at the site of the procedure [10].

Lasers in which the target chromophore is oxyhemoglobin can also be used to treat viral warts. Both the PDL laser and the Nd:Yag laser cause coagulation of blood vessels within the viral papilla and necrosis of their walls, and thus destruction of the papilla [11]. Compared to the PDL laser, the Nd:Yag laser penetrates deeper into tissues and is therefore more effective in the treatment of hyperkeratotic lesions.

Basal cell carcinoma

Many international recommendations contain guidelines regarding the use of CO₂ laser in the treatment of superficial basal cell carcinoma (sBCC), but only single reports on its effectiveness are found in available literature. Zane *et al.* compared effectiveness of sBCC treatment with CO₂ laser, cryosurgery and surgical excision. On the basis of the conducted study, no significant differences were found in terms of effectiveness of the treatment and cosmetic effect between the application of the CO₂ laser and cryosurgery. Wound healing was faster in patients treated with the CO₂ laser. However, this study showed that surgical treatment was more effective than other above-mentioned methods. Authors of this report

(-fosforowy) 532 nm, aleksandrytowy, diodowy] i lasery nano- i pikosekundowe dla płaskich zmian.

Pierwszym laserem stosowanym do usuwania brodawek łojotokowych był laser CO₂. W 1994 roku Fitzpatrick i wsp. użyli lasera CO₂ w celu usunięcia 690 brodawek łojotokowych, uzyskując we wszystkich przypadkach całkowite ustąpienie zmian skórnych, z pozostawieniem minimalnych płaskich blizn [6]. Gurel i wsp. porównywali skuteczność lasera Er:Yag z kriochirurgią i wykazali, że zastosowanie lasera pozwala na całkowite usunięcie zmian podczas jednego zabiegu, a ryzyko powstania przebarwień pozapalnych jest istotnie niższe w porównaniu z kriochirurgią [7]. Badanie porównujące skuteczność lasera Er:Yag do lasera CO₂ analogicznie potwierdziło skuteczność [8].

Włókniaki miękkie

Ponieważ w większości przypadków rozpoznanie łagodnego charakteru zmian na podstawie obrazu klinicznego jest pewne, możliwa jest zarówno ablacja, jak i ścięcie styczne zmiany. Dla większych zmian ścięcie styczne jest preferowane ze względu na mniejszy uraz termiczny podstawy zmiany.

Brodawki wirusowe

Brodawki wirusowe wywoływane przez wirusy HPV to zmiany skórne zlokalizowane zarówno na skórze gładkiej, jak i błonach śluzowych. Laseroterapia jest jedną z opcji terapeutycznych. Obok laserów chirurgicznych stosuje się także lasery naczyniowe: PDL, Nd:Yag 1064 nm i 532 nm. W tym wskazaniu laser CO₂ jest stosowany najdłużej. Może on usuwać brodawki wirusowe w dwóch mechanizmach. Jeżeli wiązka laserowa jest skupiona, można jej użyć jako skalpela do hemostatycznego wycięcia brodawki, natomiast jeśli jest ona rozproszona, dochodzi do odparowywania lub ablacji warstwy naskórka zakażonej wirusem HPV.

Leczenie laserem CO₂ może być metodą pierwszego wyboru w przypadku okołopaznokciowych brodawek wirusowych. Lim i Goh obserwowali ustąpienie 80% zmian już po pierwszym zabiegu. Należy jednak podkreślić, że takie leczenie wiąże się z możliwością wystąpienia działań niepożądanych, takich jak uszkodzenie macierzy paznokcia, bliznowacenie, dystalna onycholiza oraz pogrubienie płytki paznokciowej [9]. W przypadku leczenia laserem CO₂ brodawek wirusowych zlokalizowanych na skórze gładkiej można obserwować następujące działania niepożądane: bliznowacenie, hipopigmentację i ból w miejscu zabiegu [10].

Do leczenia brodawek wirusowych można także stosować lasery, dla których chromoforem docelowym jest oksyhemoglobina. Zarówno laser PDL, jak i laser Nd:Yag powodują koagulację naczyń krwionoś-

emphasize that in the case of sBCC, surgery should be the first-line treatment, while CO₂ laser or cryosurgery is the second-line treatment [12].

CONTRAINDICATIONS AND PRECAUTIONS

As surgical laser has an affinity for water and not for melanin, it can be used in all phototypes without the need for parameter correction. Similarly, skin hyperpigmentation ("tan") is not a contraindication to the procedure. However, treatments should be avoided immediately before sun exposure or within about 2 weeks after strong UV exposure to reduce the risk of postinflammatory hyperpigmentation (PIH). As with all surgical procedures, in order to avoid PIH, UV protection should be recommended until the post-inflammatory erythema subsides, which may take a long time from several weeks to several months. In addition, the benefit-to-risk ratio should be considered in the presence of other relative contraindications and limitations to the procedure. These include: infections (bacterial and viral) at the site, diseases (e.g., uncontrolled diabetes, chronic radiodermatitis) and medications that hinder healing, a tendency to develop keloids, surgery in areas with a higher risk of scarring and keloids, the risk of Koebner phenomenon (e.g., spreading psoriasis). Contraindications to laser therapy do not differ from other methods of dermatosurgical treatment.

Light from surgical lasers damages the front part of the eyeball and is absorbed by the cornea, leading to its destruction. The risk of damaging the retina is minimal. For all lasers, proper protection of eyes of the patient and everyone present in the room should be used during the procedure. There are no known cases of phototoxicity and photo-allergy to surgical lasers.

ANESTHESIA AND DECONTAMINATION

Local anesthesia is used, usually infiltration anesthesia. Alternatively, anesthetic ointments or creams can be used, and regional anesthesia for selected locations [25]. Ethyl chloride is not used due to its flammability. Similarly, non-flammable disinfectants should be used.

SETTING OF OPERATION PARAMETERS

Selection of the CO₂ laser operating parameters depends on the operating mode (continuous or pulsed). In addition, it strongly depends on the degree of tissue hydration, which varies depending on the type of lesion and the area of the procedure performed. In the continuous mode, laser power is the basic regu-

nych w obrębie brodawki wirusowej, martwicę ich ścian, także zniszczenie brodawki [11]. W porównaniu z laserem PDL laser Nd:Yag głębiej penetruje tkanki, a zatem jest bardziej skuteczny w przypadku leczenia zmian hiperkeratotycznych.

Rak podstawnocomórkowy

W wielu międzynarodowych rekomendacjach istnieją zalecenia dotyczące stosowania lasera CO₂ w leczeniu raka podstawnocomórkowego szerzącego się powierzchownie (*superficial basal cell carcinoma* – sBCC), jednak w piśmiennictwie odnajdujemy jedynie pojedyncze doniesienia dotyczące jego skuteczności. Zane i wsp. porównywali skuteczność terapii sBCC za pomocą lasera CO₂, kriochirurgii i wycięcia chirurgicznego. Na podstawie przeprowadzonego badania nie wykazano istotnych różnic co do skuteczności leczenia, efektu kosmetycznego w przypadku zastosowania lasera CO₂ i kriochirurgii. Zaobserwowano szybsze gojenie się rany u pacjentów, u których zastosowano laser CO₂. W badaniu tym stwierdzono jednak wyższą skuteczność leczenia chirurgicznego w stosunku do pozostałych porównywanych metod. Autorzy badania podkreślają, że leczeniem pierwszego wyboru w przypadku sBCC powinno być leczenie chirurgiczne, natomiast laser CO₂ lub kriochirurgia stanowi leczenie drugiego wyboru [12].

PRZECIWWSKAZANIA I ŚRODKI OSTROŻNOŚCI

Ponieważ laser chirurgiczny ma powinowactwo do wody, a nie do melaniny, można go używać we wszystkich fototypach bez korekty parametrów. Podobnie hiperpigmentacja skóry („opalenizna”) nie jest przeciwwskazaniem do wykonania zabiegu. Należy jednak unikać przeprowadzenia zabiegów bezpośrednio przed nasłonecznieniem lub w czasie około 2 tygodni po silnej ekspozycji na UV, aby zmniejszyć ryzyko wystąpienia pozapalnej hiperpigmentacji (*postinflammatory hyperpigmentation* – PIH). Jak przy wszystkich zabiegach chirurgicznych dla uniknięcia PIH ochrona UV powinna być zalecana aż do ustąpienia rumienia pozapalnego, co może trwać różnie długo – od kilku tygodni do kilku miesięcy. Ponadto należy rozważyć stosunek korzyści do ryzyka przy współistnieniu innych względnych przeciwwskazań i ograniczeń do wykonania zabiegu. Zaliczamy do nich infekcje (bakteryjne i wirusowe) w miejscu zabiegu, niekontrolowaną cukrzycę, radiodermis oraz leki utrudniające gojenie (np. retinoidy), tendencję do powstawania bliznowców, zabieg w okolicach o wyższym ryzyku powstawania blizn i bliznowców, ryzyko koebneryzacji (np. wysiewna łuszczyca). Przeciwwskazania do terapii laserowej nie różnią się od przeciwwskazań do innych metod leczenia dermatochirurgicznego.

lated parameter. In practice, with a constant diameter of the light beam, power affects the irradiance. With the increase in irradiance, a deeper penetration and greater effectiveness of lesion removal are achieved, which is especially applicable in the case of pedunculated lesions. However, when using continuous evaporation or coagulation of lesions, the setting of irradiance depends on the speed of the beam moving across the skin surface. Moving the laser head away from the skin disperses the uncollimated beam and reduces the intensity of lesion removal. In the pulsed mode, we can control the depth of tissue removal to a greater extent after each passage of the laser beam. No standard settings can be provided for this operating mode, because they depend on the pulse duration, frequency and fluence, and these parameters vary for different devices.

POST-TREATMENT RECOMMENDATIONS

Erosions or ulcers form after a laser treatment, with various degrees of thermal damage to the base. Healing time depends on the extent and depth of this damage and ranges from several days to several weeks. Lesions should be decontaminated and covered with dressings. Disinfection alone, without dressings, is possible in the case of very fine and superficial erosions. UV protection is discussed in the Contraindications section.

CONCLUSIONS

Treatments with the use of laser are characterized by a high safety profile, provided that they are performed by a qualified doctor who uses an individually adapted type of laser and its settings. When performing procedures with the use of lasers, a proper preparation of the patient and a detailed medical history are very important. Regardless of the general principles presented in this report, a therapeutic method should always be individually selected for each patient.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to offer special thanks to Monika Dźwigała MD of the Dermatology Department of CMKP/CSK MSWiA and Monika Turska MD PhD of NZOZ Med. – Laser Oddział Dermatologiczny for their contribution to this work/article.

Figures and tables by Prof. Bartłomiej Kwiek, MD, Ph.D.

Światło laserów chirurgicznych uszkadza przednią część gałki ocznej i jest pochłaniane przez rogówkę, powodując jej niszczenie. Ryzyko uszkodzenia siatkówki jest minimalne. W przypadku stosowania wszystkich laserów należy w trakcie zabiegu stosować właściwe zabezpieczenie narządu wzroku pacjenta i wszystkich osób obecnych w pomieszczeniu. Nie są znane przypadki fototoksyczności i fotoalergii spowodowane światłem laserów chirurgicznych.

ZNIECZULENIE I ODKAŻENIE

Stosuje się miejscową anestezję, zwykle znieczulenie nasiątkowe. Alternatywnie można zastosować miejscowe preparaty znieczulające [25], a dla wybranych lokalizacji znieczulenie przewodowe. Nie stosuje się chlorku etylu ze względu na jego łatwopalność. Należy również używać niepalnych preparatów odkażających.

USTAWIENIA PARAMETRÓW PRACY

Dobór parametrów pracy lasera CO₂ zależy od trybu działania (ciągły lub pulsowy). Ponadto jest silnie zależny od stopnia uwodnienia tkanek, który zmienia się w zależności od typu zmiany chorobowej i okolicy wykonywanego zabiegu. W trybie ciągłym podstawowym parametrem regulowanym jest moc lasera, co w praktyce przy stałej średnicy wiązki światła wpływa na irradancję. Wraz ze wzrostem irradancji uzyskuje się głębszą penetrację i większą skuteczność usuwania zmiany chorobowej, co znajduje zastosowanie szczególnie w przypadku zmian uszypułowanych. Natomiast stosując odparowywanie lub koagulację zmian w trybie ciągłym, ustawienie irradancji jest uzależnione od szybkości przesuwania wiązki po powierzchni skóry. Oddalenie głowicy lasera od skóry powoduje rozproszenie nieskolimowanej wiązki i zmniejszenie intensywności usuwania zmiany chorobowej. W trybie pulsacyjnym można w większym stopniu kontrolować głębokość usuwania tkanki po każdym przejściu wiązki światła laserowego. Nie jest możliwe podanie standardowych ustawień w tym trybie pracy, bo zależą one od czasu impulsów ich częstotliwości oraz fluencji, które to parametry są różne dla różnych urządzeń.

ZALECENIA POZABIEGOWE

Po leczeniu laserem chirurgicznym powstają nadżerki lub owrzodzenia z różnie nasilonym uszkodzeniem termicznym dna. Czas trwania gojenia zależy od rozległości oraz głębokości uszkodzenia i wynosi od kilku dni do kilku tygodni. Zmiany powinny

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

być odkażane i osłaniane opatrunkami. Odkazanie bez opatrunków jest możliwe w przypadku bardzo drobnych i powierzchownych nadżerek. Ochrona UV została omówiona przy opisie przeciwwskazań.

PODSUMOWANIE

Zabiegi z wykorzystaniem laseroterapii charakteryzują się wysokim profilem bezpieczeństwa, pod warunkiem że wykonywane są przez wykwalifikowanego lekarza, który stosuje odpowiednio indywidualnie dostosowany rodzaj lasera i jego ustawienia. Bardzo ważne w przypadku wykonywania zabiegów z wykorzystaniem laserów jest właściwe przygotowanie pacjenta oraz zebranie szczegółowego wywiadu. Niezależnie od ogólnych zasad przedstawionych w niniejszym opracowaniu, lekarz zawsze dobiera metodę terapeutyczną indywidualnie do każdego pacjenta.

PODZIĘKOWANIA

Szczególne podziękowania za duży wkład pracy dla lek. Moniki Dźwigały z Kliniki Dermatologii CMKP/CSK MSWiA oraz dr n. med. Moniki Turskiej z NZOZ Med.- Laser Oddział Dermatologiczny.

Autor rycin i tabel: dr hab. n. med. Bartłomiej Kwiek, prof. UŁ.

KONFLIKT INTERESÓW

Autorzy nie zgłaszają konfliktu interesów.

References Piśmiennictwo

1. Schimberg A.S., Heldens G.T.N., Klabbers T.M., van Engen-Van Grunsven A.C.H., Verdaasdonk R.M., et al.: Thermal effects of CO₂, KTP, and blue lasers with a flexible fiber delivery system on vocal folds. *J Voice* 2022, 10, S0892-1997(22)00074-1.2.
2. Friedman P.M., Polder K.D., Sodha P., Geronemus R.G.: The 1440 nm and 1927 nm nonablative fractional diode laser: current trends and future directions. *J Drugs Dermatol* 2020, 19, s3-s11.
3. Rodriguez A.J., Boonya-Ananta M.T., Gonzalez M., Le V.N.D., Fine J., Palacios C., et al.: Skin optical properties in the obese and their relation to body mass index: a review. *J Biomed Opt* 2022, 27, 030902.
4. Kwiek B., Ambroziak M., Osipowicz K., Kowalewski C., Rozalski M.: Treatment of previously treated facial capillary malformations: results of single-center retrospective objective 3-dimensional analysis of the efficacy of large spot 532 nm lasers. *Dermatol Surg* 2018, 44, 803-813.
5. Baumler W., Weiss K.T.: Laser assisted tattoo removal – state of the art and new developments. *Photochem Photobiol Sci* 2019, 18, 349-358.
6. Fitzpatrick R.E., Goldman M.P., Ruiz-Esparza J.: Clinical advantage of the CO₂ laser superpulsed mode. Treatment of verruca vulgaris, seborrheic keratoses, lentigines, and actinic cheilitis. *J Dermatol Surg Oncol* 1994, 20, 449-456.
7. Gurel M.S., Aral B.B.: Effectiveness of erbium:YAG laser and cryosurgery in seborrheic keratoses: randomized, prospective intraindividual comparison study. *J Dermatolog Treat* 2015, 26, 477-480.
8. Cevizci R., Bezgin S., Altin G., Oran G., Bayazit Y.A.: Treatment of seborrheic keratosis in bilateral external auditory canal using fiber CO₂ laser. *Kulak Burun Bogaz Ihtis Derg* 2016, 26, 304-306.
9. Suh J.H., Lee S.K., Kim M.S., Lee U.H.: Efficacy of bleomycin application on periungual warts after treatment with ablative carbon dioxide fractional laser: a pilot study. *J Dermatolog Treat* 2020, 31, 410-414.
10. Iranmanesh B., Khalili M., Zartab H., Amiri R., Aflatoonian M.: Laser therapy in cutaneous and genital warts: a review article. *Dermatol Ther* 2021, 34, e14671.

11. Sterling J.C., Gibbs S., Haque Hussain S.S., Mohd Mustapa M.F., Handfield-Jones S.E.: British Association of Dermatologists' guidelines for the management of cutaneous warts. *Br J Dermatol* 2014, 171, 696-712.
12. Zane C., Facchinetti E., Arisi M., Ortel B., Calzavara-Pinton P.: Pulsed CO2 laser ablation of superficial basal cell of limbs and trunk: a comparative randomized clinical trial with cryotherapy and surgical ablation. *Dermatol Surg* 2017, 43, 920-927.
13. Mityrska R., Borzęcki A., Chodorowska G.: Papilloma condylomatoides okolicy narządów płciowych i odbytu leczona laserem CO2. *Dermatol Estet* 2009, 11, 481-485.
14. Piłat P., Borzęcki A., Krasowska D.: Rozległa choroba Bowena twarzy - leczenie skojarzone. *Dermatol Rev* 2014, 101, 201-204.
15. Raszewska-Famielec M., Dudra-Jastrzębska M., Borzęcki A., Chodorowska G.: Darier-White disease treated with fractional CO2 laser in two cases. *Dermatol Ther* 2015, 28, 254-257.
16. Borzęcki A., Strus-Rosińska B., Raszewska-Famielec M., Sajdak-Wojtaluk A., Piłat P. J.: Linear verrucous epidermal nevi-effects of carbon dioxide laser therapy. *Cosmet Laser Ther* 2016, 18, 348-351.
17. Borzęcki A., Piłat P., Raszewska-Famielec M., Strus-Rosińska B.: Nerwiakowłókniakowatość typu 1. leczona laserem CO2 i laserem frakcyjnym CO2 - opis przypadku. *Dermatol Estet* 2017, 19, 246-251.
18. Borzęcki A., Piłat P., Raszewska-Famielec M., Piłat J., Dudra-Jastrzębska M.: Combination therapy of basal-cell carcinoma in 31-year-old patient with nevoid basal cell carcinoma syndrome - case study. *J Pre Clin Res* 2016, 10, 66-68.
19. Borzęcki A., Raszewska-Famielec M., Borzęcka-Sapko A., Piłat P., Krasowska D.: Rozległy rak podstawnokomórkowy twarzy leczony laserem CO2, imikwimodem i terapią fotodynamiczną. *Ter Fotodynam* 2015, 1, 54-58.
20. Kwiek B., Schwartz R.A.: Keratoacanthoma (KA): an update and review. *J Am Acad Dermatol* 2016, 74, 1220-1233.
21. Borzęcki A., Borzęcka-Sapko A., Raszewska-Famielec M.: Praktyczne aspekty zastosowania terapii fotodynamicznej w leczeniu rogowacenia słonecznego. *Aesthetica* 2018, 25, 22-29.
22. Turska M., Strus-Rosińska B., Borzęcki A.: Terapia fotodynamiczna w rogowaceniu słonecznym. *Ter Fotodynam* 2018, 3, 33-41.
23. Morton C.A., Szeimies R.M., Basset-Séguin N., Calzavara-Pinton P., Gilaberte Y., Haedersdal M., et al.: European Dermatology Forum guidelines on topical photodynamic therapy 2019. Part 1: treatment delivery and established indications - actinic keratoses, Bowen's disease and basal cell carcinomas. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2019, 33, 2225-2238.
24. 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.
25. Stevic M., Vlajkovic A., Trifunovic B., Rakic I., Ristic N., Budic I., et al.: Topical anesthetics for pediatric laser treatment. *J Cosmet Laser Ther* 2019, 21, 417-421.

Received: 8.02.2022

Accepted: 9.03.2022

Otrzymano: 8.02.2022 r.

Zaakceptowano: 9.03.2022 r.

How to cite this article

Walecka I., Kwiek B., Borzęcki A., Warszawik-Hendzel O., Ambroziak M., Kaszuba A., Lesiak A., Narbutt J., Owczarczyk-Saczonek A., Owczarek W., Pytrus B., Zegarska B., Rudnicka L.: Lasers in dermatology. Recommendations of the Polish Dermatological Society. Part 1. Lasers in dermatosurgery. *Dermatol Rev/Przeegl Dermatol* 2022, 109, 1-22. DOI: <https://doi.org/10.5114/dr.2022.116729>.