

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Farmaceutická fakulta v Hradci Králové**  
**Katedra biofyziky a fyzikální chemie**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

# **LASERY A JEJICH BIOLOGICKÉ ÚČINKY**

**(rešeršní práce)**

**Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Monika Kuchařová, Ph.D.**

**Hradec Králové, 2016**

**Barbora Marková**

„Prohlašuji, že tato práce je mým původním autorským dílem. Veškerá literatura a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury a v práci jsou řádně citovány. Práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.“

datum

podpis

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce, paní Mgr. Monice Kuchařové, Ph.D., za její ochotu, vstřícnost, rady a odborné vedení.

Dále bych chtěla poděkovat své rodině za podporu, nejen během psaní bakalářské práce, ale i během celého studia.

## Obsah

1.	Zadání práce .....	6
2.	Historie laseru .....	7
3.	Elektromagnetické vlnění.....	9
4.	Vznik laserového světla.....	13
5.	Zdroje světla.....	14
5.1.	Přírodní a umělé světlo .....	14
5.2.	Luminiscenční světlo .....	15
6.	Rozdělení laserů .....	16
6.1.1.	Pevnolátkové lasery .....	16
6.1.2.	Kapalinové lasery .....	17
6.1.3.	Plynové lasery .....	18
6.1.4.	Polovodičové lasery.....	19
6.1.5.	Plazmové lasery.....	19
6.1.6.	Lasery s volnými elektrony.....	20
6.2.	Dle typu buzení aktivního prostředí.....	20
6.2.1.	Optické buzení.....	20
6.2.2.	Elektrickým polem.....	20
6.2.3.	Chemická excitace.....	20
7.	Neinvazivní aspekty působení laserů .....	22
8.	Aplikace stimulačního laseru- technické parametry .....	23
9.	Mechanismus účinku laseru .....	26
9.1.	Fotochemické reakce .....	26
9.2.	Mechanismus účinku laseru na organismus .....	27
9.2.1.	GAP junctions .....	29
9.2.2.	Bystander efekt .....	30
9.2.3.	Chromatofotropní aktivita lidské krve .....	30
10.	Biologické účinky aplikace laseru .....	31
10.1.	Analgetický účinek.....	31
10.2.	Protizánětlivý účinek .....	33
10.3.	Stimulační účinek .....	34
11.	Terapeutické využití vysokovýkonných laserů .....	35
12.	Využití laseroterapie v jednotlivých lékařských oborech.....	36
12.1.	Dermatologie, estetická medicína .....	36

12.1.1.	Ulcus cruris diabeticorum .....	37
12.1.2.	Ulcus cruris venosum .....	38
12.1.3.	Absces, furunkl .....	38
12.1.4.	Acne vulgaris .....	39
12.1.5.	Rosacea .....	40
12.1.6.	Eczema atopicum .....	40
12.1.7.	Dermatitis seborrhoica.....	41
12.1.8.	Psoriasis.....	42
12.1.9.	Vitiligo .....	43
12.1.10.	Alopecie.....	44
12.1.11.	Jizvy .....	45
12.1.12.	Fotorejuvenace .....	45
12.1.13.	Lymfedém.....	46
12.1.14.	Odstranění tetováže.....	47
12.1.15.	Změny pigmentace.....	47
12.1.16.	Strie .....	48
12.1.17.	Cévní léze, varixy .....	49
12.1.18.	Odstranění nežádoucího ochlupení .....	49
12.2.	Stomatologie .....	51
12.3.	Chirurgie, ORL .....	53
12.4.	Rehabilitace, léčba pohybového aparátu.....	54
12.5.	Gynekologie.....	55
14.	Závěr.....	57
15.	Použité zkratky .....	58
16.	Seznam použité literatury .....	59

## **1. Zadání práce**

Předložená bakalářská práce je prací rešeršní. Jejím cílem je popsat problematiku týkající se popisu a využití jednotlivých typů laserů v biologii a v lékařství. Pozornost bude věnována především vlivu laserového záření na organismus člověka a dále na ošetření kůže jak v kožním lékařství, tak v kosmetice.

V první polovině mé práce se zabývám fyzikálními aspekty světla a laserového záření, rozdělením laserů a jejich popisem.

Ve druhé části jsem se zaměřila na mechanismus účinku laseru na organismus a na samotné účinky. Dále na využití laseroterapie v jednotlivých oborech ve zdravotnictví, a to především v dermatologii a estetické medicíně.

## 2. Historie laseru

Historie laseru se rozvíjela velmi pomalu. Na začátku byla pouze předpověď, že by za vhodných podmínek mohlo vzniknout záření neobvyklých vlastností. Než se však dospělo k vytvoření zdroje takového záření, uběhlo téměř 40 let. [1]

Prvním průkopníkem byl Max Karl Ernst Ludwig Planck. Planck byl německý fyzik, který žil v letech 1858-1947. Právě on v prosinci roku 1900 vystoupil s revoluční myšlenkou kvantování energie elektromagnetického záření. Podle jeho představ má světlo dvojí povahu. Většinou ho lze považovat za vlnění, například při interferenci, polarizaci, ohybu nebo odrazu, ale za určitých podmínek má světlo kvantový, částicový charakter a projevuje se tedy jako proud částic energie, které byly nazvány fotony. Tato Planckova myšlenka byla natolik novátorská, že narazila na odpor ostatních fyziků. Pouze jeden vědec se postavil na Planckovu stranu a tím byl dosud neznámý Albert Einstein. [1] Einstein (1879–1955) byl německý fyzik a matematik. V roce 1905 publikoval několik zásadních vědeckých prací, díky kterým vznikly dvě zcela nové oblasti fyziky. Rovnicí  $E = m c^2$  charakterizoval speciální teorii relativity a rovnicí popisující fotoelektrický jev dal základ kvantové fyzice. Díky tomu vytvořil dánský fyzik Niels Henrik David Bohr první model atomu a následně objasnil, jak vzniká světlo. Einstein při studiu kvantových vlastností atomu došel k závěru, že při vzájemném působení atomů látky a elektromagnetického záření může docházet nejen k absorpci a spontánní emisi záření, ale i k tzv. stimulované neboli vynucené emisi záření. A to za těch okolností, když by se atomy v látce nacházely ve vyšších energetických hladinách a nedošlo by ke spontánní emisi. Poté by bylo možné je donutit k vyzáření přebytečné energie pomocí vhodného fotonu zvenčí a výsledkem by byl vznik světla mnohem silnějšího než byl slabý světelný impuls, který ho vyvolal. Tato myšlenka byla ale v roce 1917 z technických důvodů nerealizovatelná. [1,2]

Až během druhé světové války, kdy se začaly využívat radiolokátory, se tehdejší fyzikové vrátili k Einsteinově myšlence stimulované emise záření. Radiolokátory neboli radary byly založeny na odrazu elektromagnetických vln velmi malé vlnové délky tzv. mikrovln a díky tomu bylo možné zjistit polohu nepřátelských letadel. Po válce vývoj pokračoval a konstruktéři hledali způsob, jak vylepšit parametry mikrovlnných přijímačů a vysílačů a právě Einsteinova myšlenka dovedla vědce k úspěchu. V roce 1954 téměř současně vznikly první kvantové generátory mikrovlnného záření a to v moskevském Fyzikálním ústavu akademie věd SSSR díky výzkumu Nikolaje

Genadijeviče Basova (1922–2001) a Alexandra Michajloviče Prochorova (1916–2002) a na Kolumbijské univerzitě v New Yorku díky výzkumu Charlese Harde Townese (1915–2015). Těmto přístrojům se začalo říkat masery. [1,3,4] Název byl odvozen od počátečních písmen Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation, v překladu zesilovač mikrovln pomocí stimulované emise záření. Základem maseru byla komůrka se čpavkovou náplní, která byla vložena do silného elektrického pole. Tím molekuly čpavku získaly energii nutnou ke vzniku stimulované emise. Výhodou maseru byla nízká úroveň šumu a vysoká stabilita kmitočtu. A sloužil k zesilování velmi slabých mikrovlnných signálů nebo ke generování mikrovln a dokonce se stal nejpřesnějšími hodinami, tzv. atomovými hodinami, s teoretickou odchylkou jedné vteřiny za několik miliónů let. Od tohoto objevu už sestavení kvantového zesilovače, který místo s mikrovlnami pracuje se stimulovanou emisí, dělily pouze tři technické problémy. A to jaké použít aktivní prostředí, kde by docházelo ke stimulované emisi, jak zařídit, aby atomy přecházely na vyšší energetické hladiny a jak zajistit, aby v aktivním prostředí docházelo ke stimulované emisi záření. [1] Ty vyřešil Theodore Harold Maiman (1927-2007), který v roce 1960 sestrojil a představil první funkční laser. Laser je zkratkou pro Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, v překladu zesilovač světla pomocí stimulované emise záření. První prototyp laseru byl primitivní, ale jeho základní uspořádání se využívá dodnes. Skládal se z krystalu syntetického rubínu, který tvořil aktivní prostředí. Dále z výbojky, která krátkými světelnými záblesky budila atomy na vyšší energetickou hladinu a ze dvou rovnoběžných zrcadel, která zesilovala světlo. Vydával červené světlo o vlnové délce 694,3 nm. Vznik prvního laseru odstartoval vývoj dalších a dalších typů laserů, které se lišily nejen aktivním prostředím, ale i způsobem buzení atomů, výkonem atd. [3] Další hlavní mezníky ve vývoji laserové techniky byly roky

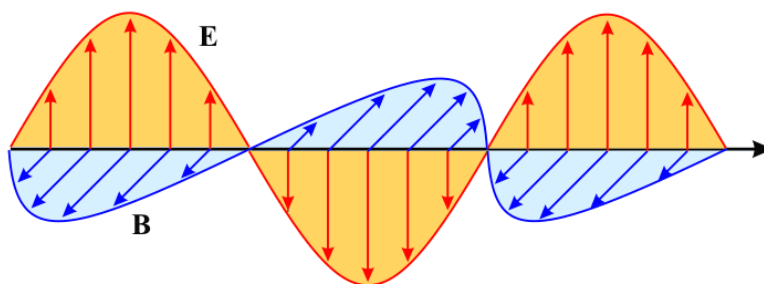
- 1960, kdy A. Javan, W. Bennett a D. Herriott sestrojili první plynový laser, jehož aktivním prostředím byla směs hélia a neonu, vlnová délka vyzařovaného světla byla 1150 nm
- 1962, kdy vznikly první polovodičové lasery díky R. Hallovi, tyto lasery využívaly přechodu p-n a musely být chlazeny kapalným dusíkem na -196 °C
- 1964, kdy K. Patel sestrojil první výkonný laser s oxidem uhličitým jako aktivní látkou, vlnová délka světla dosahovala 1060 nm
- 1964, kdy J.F. Geusic a R.G. Smith uvedli první neodymový laser



- 1965, kdy byl vynalezen první chemický laser, kde dochází k buzení atomů energií, která je uvolňována při chemických reakcích
- 1965, kdy D. Gabor pomocí laserového světla vytvořil první hologramy
- 1971, kdy I. Hayashi a M. Panish sestrojili polovodičový laser, který ale pracoval při pokojové teplotě
- 1975, kdy byl sestrojen první excimerový laser s excitovanými molekulami xenonu
- 1983, kdy byl v USA uveden do provozu první excimerový laser, který pracuje v ultrafialové oblasti a jehož vlnová délka je 193 nm [1,2]

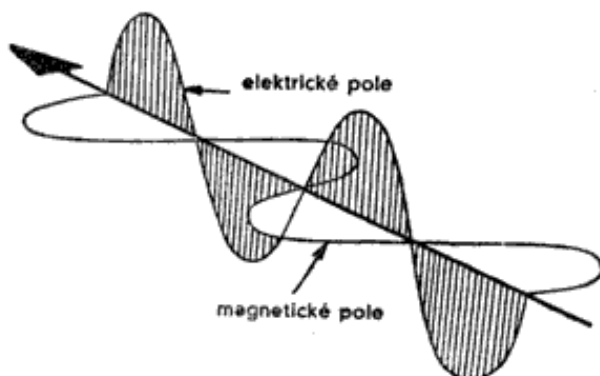
### 3. Elektromagnetické vlnění

Elektromagnetické vlnění lze popsat jako zvláštní prostoročasové rozložení elektrického a magnetického pole a je jednou z forem přenosu energie prostorem. Tuto teorii vytvořil již v 19. století James Clerk Maxwell (1831–1879). Na obrázku č. 1 a č.2 vidíme navzájem svázané periodické kmity elektrického pole znázorněné vektory intenzity elektrického pole  $E$  a na ně kolmé magnetické pole znázorněné vektory magnetické indukce  $B$ . Postupným „přeléváním“ energie od magnetického pole k elektrickému a naopak dochází k šíření energie prostorem. Tyto elektromagnetické vlny se ve vakuu šíří rychlostí  $c = 299792498 \text{ m s}^{-1}$ . Na obrázku č. 1 je vodorovnou šipkou znázorněn směr šíření elektromagnetické vlny a je zřejmé, že oba dva vektory  $E$  i  $B$  jsou vždy kolmé na směr šíření, což znamená, že elektromagnetické vlnění je příčné. U reálných zdrojů, jako je sluneční záření, světlo žárovky, výbojky a podobně je elektromagnetické vlnění složeno z množství elektromagnetických vln, které se od sebe navzájem liší frekvencí, polarizací, amplitudou, fází, rozbíhavostí atd. Spojením těchto vln poté vzniká neuspořádané magnetické pole s charakterem náhodných šumů neboli fluktuací.[2]



**Obrázek č. 1: Schematické znázornění elektromagnetické vlny**

Zdroj: <http://www.aldebaran.cz/tabulky/images/elmg.gif>



**Obrázek č. 2: Znázornění kolmosti elektrického a magnetického pole**

Zdroj: <http://elektrika.cz/Members/otec/obrazek.2005-02-26.1316846138>

Ze světelného zdroje se světlo šíří ve formě vlnění o vlnové délce  $\lambda$ ,

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ (m)}, \quad (1)$$

kde  $f$  je frekvence záření v Hz. Na vlnové délce světelného vlnění  $\lambda$  je závislý index lomu prostředí  $n_\lambda$ , což je poměr rychlosti světla ve vakuu  $c$  a rychlosti v jiném prostředí  $v_\lambda$ .

$$n_\lambda = \frac{c}{v_\lambda}, \quad (2)$$

Podle nových fyzikálních teorií vykazuje elektromagnetické záření nejen vlastnosti vlnové, ale i korpuskulární. Tuto myšlenku zobecnil Luis Victor de Broglie v principu duality částice a vlnění a popsal jej vztahem

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad (3)$$

kde  $h$  je Planckova konstanta,  $p$  je hybnost částice ( $p = m \cdot v$ ), kde  $m$  je hmotnost částice a  $v$  je rychlost jejího pohybu.

Foton je nositelem energie  $E$  elektromagnetického vlnění, pro kterou platí vztah:

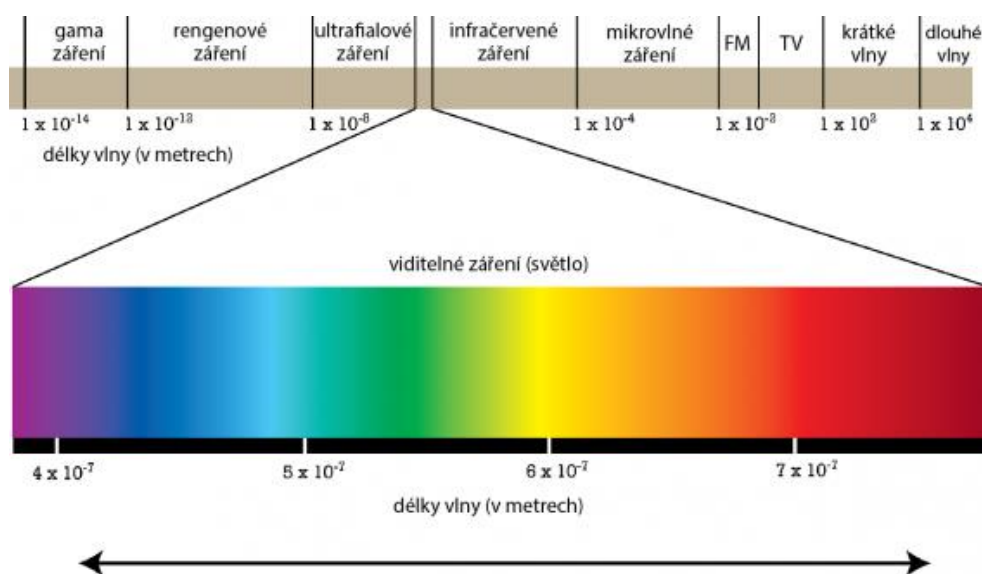
$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}, \quad (4)$$

kde  $h$  je Planckova konstanta a je rovna  $6,62 \cdot 10^{-34}$  J.s. Na základě relativistického vztahu ekvivalence energie a hmotnosti

$$E = m \cdot c^2, \quad (5)$$

který také formuloval Albert Einstein, lze i fotonu přiřadit určitou pohybovou hmotnost, která se projevuje setrvačnými a gravitačními vlastnostmi. Tato energie způsobuje, že na foton, tudíž i na světlo, působí gravitace a samo světlo působí gravitačně na okolí.

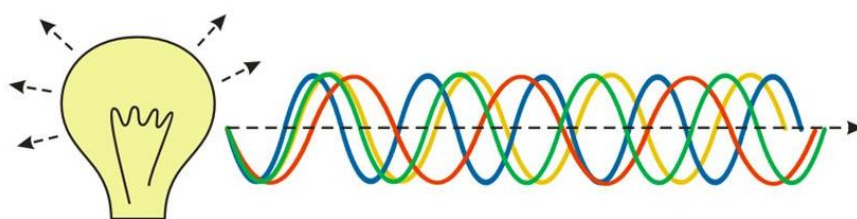
Spektrum elektromagnetického záření zasahuje z jedné strany do oblasti rádiových vln a ze strany druhé do oboru záření  $\gamma$ , jehož zdrojem jsou atomová jádra. Optické záření zahrnuje oblast s rozsahem frekvencí od  $7 \cdot 10^{11}$  Hz do  $3 \cdot 10^{16}$  Hz. Vakuum odpovídají vlnové délky od  $4 \cdot 10^{-4}$  m do  $10^{-8}$  m. Optické záření lze rozdělit na tři oblasti. První je oblast infračerveného záření (tvořící 45% z celkového spektra optického záření) s vlnovými délkami od 780 nm do 1 mm, dále oblast viditelného záření - světla (tvořící 50%) s vlnovými délkami od 365 do 780 nm a oblast ultrafialového záření (tvořící 5%) o vlnových délkách 100 až 365 nm. Významnou složkou spektra je světlo, na které je citlivé lidské oko. Bílé světlo je možné rozložit skleněným hranolem na světelné hranolové spektrum. To je tvořeno fialovou, modrou, zelenou, žlutou, oranžovou a červenou barvou. Barva závisí na vlnové délce světla. Například nejkratší vlnová délka odpovídá barvě fialové a nejdelší vlnová délka odpovídá barvě červené (viz obrázek č. 3) [2]



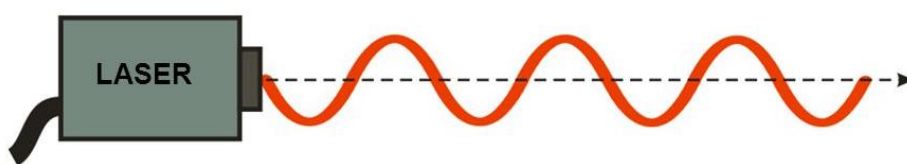
**Obrázek č. 3: Spektrum viditelného záření**

Zdroj: [http://www.pion.cz/\\_sites/pion/upload/images/5ea39631416220c6be6bdb2f6fd1f3d4\\_11-zareni-graf-wiki-cz.png](http://www.pion.cz/_sites/pion/upload/images/5ea39631416220c6be6bdb2f6fd1f3d4_11-zareni-graf-wiki-cz.png)

Světlo o konstantní frekvenci (vlnové délce) se nazývá monofrekvenční neboli monochromatické (jednobarevné). Avšak světlo pocházející z běžných zdrojů jako je Slunce, oheň, žárovky, zářivky, výbojky apod. není monochromatické, protože je složeno ze všech vlnových délek tvořících světlo bílé. Není ani koherentní, což znamená, že není složeno ze světél, které mají v určitém místě a okamžiku stejnou vlnovou délku a stejnou fázi. A vždy vytváří rozbíhavý svazek paprsků. Je to způsobené tím, že obyčejné zdroje světla jsou tvořeny velkým množstvím navzájem nezávislých atomů, které se po dodání energie dostanou do vybuzeného stavu, z něhož se okamžitě a zcela náhodně vrací do základního stavu a přitom, také náhodně, vyzařují energii ve formě fotonů. A právě tato nahodilost fotonů znemožňuje jejich soustředění do úzkého svazku paprsků. Tento problém vyřešil laser (viz obrázek č. 4,5). Jeho světlo je monochromatické, koherentní, polarizované (prostorově orientované na definované ploše) a má velmi malou divergenci neboli rozbíhavost. Právě monochromaticnost je velmi výhodnou vlastností při měření absorpce, reflexe, luminiscence a rozptylu světla.



bílé světlo žárovky i slunce obsahuje všechny barvy (vlnové délky)



světlo laseru je monochromatické (jednobarevné) a koherentní (má stejnou fázi)

**Obrázek č. 4: Vlnová podoba světla – rozdíl mezi koherentním, monochromatickým a nekoherentním, polychromatickým elektromagnetickým vlněním**

Zdroj: [http://images.slideplayer.cz/8/2004999/slides/slide\\_2.jpg](http://images.slideplayer.cz/8/2004999/slides/slide_2.jpg)

## 4. Vznik laserového světla

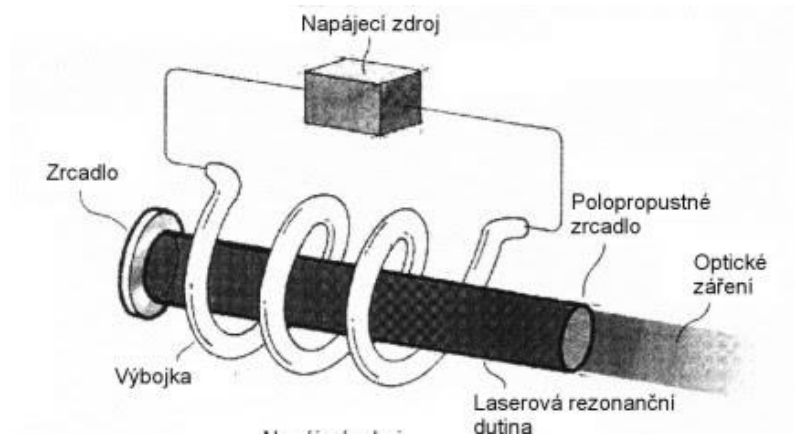
Laserové světlo vzniká stimulovanou emisí, ta ke svému vzniku potřebuje vnější podnět. [2,5] Podnětem vybuzení elektronů do vyšších energetických stavů je vnější budící (excitační) pole. K buzení může docházet elektricky, chemicky, opticky. Tato emise je usnadněna tím, že ve zdroji je světlo vyzařováno obrovským množstvím atomů. Nejprve je zapotřebí, aby se do vybuzeného stavu dostalo co nejvíce atomů a v tomto stavu setrvalo dostatečně dlouhou dobu. Foton, který má vhodnou vlnovou délku, energii a je spontánně generovaný v aktivní oblasti, nebo je dodán z vnějšku, interaguje s vybuzenými elektrony tak, že při přeskokách těchto elektronů zpět na nižší energetické hladiny vzniká nový foton stejných parametrů (barva, směr, polarizace, fáze) jako foton stimulující. To znamená, že v laseru dochází k lavinovitému vzniku identických fotonů, které jsou emitovány stejným směrem a s vysokou hustotou energie. Tento proces vzniku neboli generace laserového záření je podobný řetězové reakci a může být lavinovitý, vysoce účinný a velmi rychlý.

Látkám, ve kterých k těmto dějům dochází, se říká aktivní prostředí. Tím může být jak pevná látka s příměsemi (krystal, sklo, polovodič), tak kapalina, plyn nebo směs plynů ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{He} + \text{Ne}$ ). Energetickým hladinám, kde atomy setrvávají delší dobu, se říká metastabilní hladiny.

Principem je, že po vybuzení atomů dochází k jejich přechodu ze základního stavu  $E_1$  na hladinu  $E_2$ , kde se absorbují fotony modrého světla a z této hladiny prakticky okamžitě na metastabilní hladinu  $E_m$ . Jakmile se však objeví stimulující foton červeného světla, tak se všechny předtím vybuzené atomy vrátí do základního stavu, a zároveň koordinovaně vyžáří přebytek své energie ve formě fotonů červeného světla. Během tohoto děje dochází nejen k zesílení světla, ale i k upravení vlastností vystupujícího svazku světla. Vystupující svazek záření je vysoce monochromatický, polarizovaný, prostorově i časově koherentní, úzce směřovaný a má vysokou hustotu energie. Přičemž záření je emitováno kontinuálně (spojitě), kdy nedochází k žádným změnám parametrů laserového záření v čase nebo v pravidelných a opakovaných impulzech.

Je zapotřebí, aby se fotony uvnitř aktivního prostředí udržely co nejdéle, aby se v něm nahromadilo co největší množství energie. Řešením je tzv. optický rezonátor se dvěma zrcadly na koncích rubínové tyčinky (aktivního prostředí), která jsou kolmo na osu tyčinky. Jedno ze zrcadel je postříbřeno a tvoří dokonalé zrcadlo s odrazivostí až 99,9 %, zatímco druhé ze zrcadel je polopropustné. Fotony, které vznikají stimulovanou

emisí, se odrážejí od zrcadel, stimulují další vybuzené atomy a tím zvyšují intenzitu světla uvnitř tyčinky. Jakmile dosáhne intenzita světla určité meze, tak je skrz polopropustné zrcadlo vyzářen světelný impulz jako laserový paprsek. Po vyzáření fotonů se atomy vrací do základní energetické hladiny a po buzení se děj může opakovat.



**Obrázek č. 5: Základní součásti optického laseru**

Zdroj: [https://sites.google.com/site/sirenizvuku8trida/\\_/rsrc/1307978398921/akusticky-laser/akustick%C3%BD%20laser.jpg](https://sites.google.com/site/sirenizvuku8trida/_/rsrc/1307978398921/akusticky-laser/akustick%C3%BD%20laser.jpg)

Dalším příslušenstvím laseru je chladič, měřič výkonu a kalibrace zařízení, nelineární krystal, který je schopen měnit vlnovou délku. [1,2,5,6,7,8]

## 5. Zdroje světla

### 5.1. Přírodní a umělé světlo

Fotony (kvanta elektromagnetické energie) mohou vznikat mnoha způsoby. Anihilací částic, vyzářením při přechodu z energeticky vyšší kvantové hladiny na nižší atd. Kvantovou hodnotou energie fotonu je přesně určitá a nespojitá, čili diskrétní velikost energetického rozdílu hladin elektronů v orbitech atomu látky. Slunce nám poskytuje fotony z širokého intervalu vlnových délek a s vlnami v různých fázích. Což znamená, že nezačínají v jediném místě a v jediném okamžiku. Toto světlo není ani polarizované. Podobně jsou na tom i umělé zdroje světla jako je oheň, plamen svíčky, žárovka atd. Tyto zdroje jsou zdroje teplotní, tzv. inkandescenční. U nich je vyzařování světla způsobeno tepelným buzením. Vlnové délky světla těchto zdrojů závisí na teplotě a jeho spektrum je primárně spojitě. Jedná se v podstatě o všechna tělesa, jejichž teplota

převyšuje 0 K. Například viditelné světlo produkují tělesa zahřátá na stovky až dokonce tisíce K.

Rakouský fyzik Wilhem Wien (1864 -1928) zformuloval Wienův posunovací zákon, který popisuje, že s rostoucí termodynamickou teplotou tělesa klesá vlnová délka vyzařovaného světla, což odpovídá známé skutečnosti, že při zahřívání tělesa, těleso mění svoji barvu od rudě červené až po modře fialovou. Neřešilo se zde však spektrální rozložení záření.

Tento problém se podařil vyřešit britským fyzikům Johnu Williamu Rayleighovi (1842 – 1919) a Jamesi Jeansovi (1877 – 1946), kteří formulovali svůj spektrální vyzařovací zákon. Ten se týkal celého spojitého vyzařovaného spektra. Pro ultrafialové záření však poskytoval nesmyslné výsledky a byl označován jako „ultrafialová katastrofa“.

Dalším fyzikem, který se touto otázkou zabýval, byl již zmíněný Max Planck. Ten zformuloval Planckův vyzařovací zákon a jím vyřešil daný problém. Vyzařovací zákon vyjadřuje závislost intenzity záření  $I$  absolutně černého tělesa na frekvenci  $\omega$ .

$$dI = \frac{\hbar}{4\pi^2 c^2} \frac{\omega^3}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1} d\omega \quad (6)$$

kde  $\omega$  je úhlová frekvence záření,  $I$  je intenzita záření,  $T$  je teplota absolutně černého tělesa,  $\hbar$  je redukovaná Planckova konstanta,  $c$  je rychlost světla ve vakuu a  $k$  Boltzmannova konstanta.

Předpokládal striktní diskretizaci veličiny a tedy možnost jejího růstu či poklesu pouze o konstantní, nenulové hodnoty – kvanta. Kvantové pojetí se stalo východiskem pro Alberta Einsteina, který později zavedl pojem foton a vyřešil problém s výkladem fotoelektrického jevu. [2,9]

## 5.2.Luminiscenční světlo

Luminiscence je pojem, který nesouvisí s teplotou, ale s návratem energeticky excitovaného atomu látky do jeho základního stavu a s tím spojeným vyzářením fotonu. Jedná se o samovolné záření pevných, popřípadě kapalných látek. K excitaci může docházet vlivem jiného elektromagnetického záření avšak o kratší vlnové délce (UV), v tomto případě hovoříme o fotoluminiscenci. Nebo působením dopadu proudu elektronů, který je urychlován elektrickým polem přiloženým – katodoluminiscence

nebo proudem, který protéká – elektroluminiscence. Dále ionizujícím jaderným zářením – radioluminiscence, mechanickým tlakem – triboluminiscence nebo chemickou reakcí – chemoluminiscence či chemickou reakcí u živých organismů – bioluminiscence.

Luminiscence může být krátkodobá, která odezní prakticky okamžitě po skončení vyvolávajícího podnětu (nanosekundy). Tento děj se označuje jako fluorescence. Tento téměř okamžitý efekt je dosažen přechodem orbitálního elektronu mezi povolenými kvantovými stavy. Nebo může přetrvávat delší dobu, i po ukončení působení vyvolávajícího podnětu, a je nazývána fosforescence.

Mezi luminiscenční zdroje patří hlavně luminiscenční diody LED (light-emitting diode), viz. polovodičové lasery. Luminiscenční diody nám poskytují umělý luminiscenční zdroj záření, který má na rozdíl od tepelných umělých zdrojů světla (žárovka) přibližně o řád vyšší účinnost přeměny elektrické energie na světlo. Navíc je toto světlo skoro monochromatické a jeho barvu lze navolit a udržovat. Jejich výkon je však omezen a také hustota vyzařované energie je limitována. U LED diod tedy nelze uvažovat o polarizaci světla ani jeho koherenci. [2]

## **6. Rozdělení laserů**

I když lasery pracují na stejném principu, stimulované emisi záření, mohou se velmi významně lišit svou konstrukcí i vlastnostmi. Můžeme je rozlišovat dle skupenství aktivního prostředí, vlnové délky vyzařovaného světla, typu buzení (excitace), počtu energetických hladin nebo dle režimu práce.

### **6.1. Dle skupenství aktivního prostředí**

#### **6.1.1. Pevnolátkové lasery**

Jejich aktivním prostředím jsou krystalické nebo amorfní izolanty s příměsí vhodných iontů (Nd, Er, Pr, Ho, Cr, Ti). Jsou stabilní, mají malé nároky na údržbu a mohou pracovat v různých režimech a za různých podmínek provozu. Jejich vlnové délky sahají do oblasti infračerveného a viditelného světla

Prvním a nejznámějším typem laseru je laser rubínový, jehož aktivní prostředí je tvořeno krystalem syntetického rubínu, chemicky se jedná o  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Využívá tři kvantové energetické hladiny v dielektrickém materiálu  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Zavedením více kvantových energetických hladin, se umožnil i kontinuální provoz laseru.



Nejrozšířenějším laserem je však v dnešní době vláknový laser neodymový, jehož aktivní prostředí je tvořeno skleněnými vlákny s jádrem dotovaným právě neodymem. Vyzařuje infračervené světlo nebo světlo zelené a jeho využití je především v medicíně, komunikacích.

Dalšími často využívanými lasery jsou:

- $\text{Nd}^{3+}$ : YAG – Aktivním prostředím je izotropní krystal yttrium aluminium granátu, který je dopovaný neodymem. Laser je opticky a kontinuálně buzen kryptonovou výbojkou a jeho výkon může dosahovat jednotek až tisíců W. Ve tkáni se jeho záření méně rozptyluje, ale může prostupovat do hloubky 2 - 6 mm, kde je vyvolává koagulační nekrózu. Laser je schopen koagulovat artérie do průměru 2 mm a vény do 3 mm. Tohoto je využíváno v léčbě vaskulárních névů. [10]
- Holmium: YAG - Záření je buzeno v pulzním režimu a ke vzniku laserového paprsku dochází při vlnové délce 2100 nm. Záření je vedeno vláknovou optikou. Ve tkáni působí termální poškození mezi 0,4 – 0,6 mm. Proto se využívá především v ortopedii u artroskopických zákroků nebo v oftalmologii.
- Alexandrit: YAG - Používá se v pulzním režimu a září na vlnové délce 760 nm. Slouží především k léčbě tetováží v dermatologii, kdy způsobuje fragmentaci barev (černé, modré, zelené) a jejich zpětnou reabsorpci.
- Erbium: YAG - Září na vlnové délce 2940 nm a jeho záření je velmi silně absorbováno ve vodě bez tepelného poškození přiléhající tkáně. Proto může být využíván k řezání nebo k ablaci kostí i měkkých tkání, k navození stimulace reparativních procesů, v ortopedii, v oční chirurgii a stomatologii k odstranění zubního kazu. [7,11]

### 6.1.2. Kapalinové lasery

Jejich aktivním prostředím jsou roztoky různých organických barviv (rhodamin, fluorescein, alizarin, ...) v alkoholu nebo ve vodě. Mají ale nevýhodu v tom, že se teplem a světlem rozkládají a proto je životnost aktivního prostředí krátká. Zdroje, které se používají k buzení atomů, jsou speciální výbojky, argonový nebo dusíkový laser. Jsou schopny pracovat jak v pulzním, tak v kontinuálním režimu a další výhodou je jejich laditelnost (vložením difrakční mřížky do rezonátoru). Za pomoci tzv. nelineární optiky lze dosáhnout prakticky všech vlnových délek od 300 nm do 1500 nm. U

polymethinových barviv je to oblast 700-1500 nm, u xanthenových barviv 500-700 nm, u kumarinových 400-500 nm a u scintilátorových barviv je to oblast s vlnovou délkou nižší než 400 nm. Jsou využitelné například k selektivní destrukci cév bez poškození okolní tkáně, kdy jsou pulzní barvivové lasery nastaveny na vlnovou délku 540-577 nm, která odpovídá absorpčním maximům hemoglobinu. [7,11]

### 6.1.3. Plynové lasery

Aktivní prostředí je tvořeno atomy, molekulami nebo ionty plynů a je homogenní. Jsou excitovány především pomocí elektrického výboje. Mají velmi široký rozsah vlnových délek, ale poměrně malý výkon. Pracují jak v kontinuálním, tak i v pulzním režimu.

Mezi nejznámější plynové lasery patří ty s náplní He-Ne/Ar<sup>+</sup> (modré, zelené světlo) nebo He-Cd (červenooranžové, zelené, modré záření). Laser s náplní Kr<sup>+</sup> pracuje na vlnových délkách od 350 nm do 647 nm, tedy v ultrafialové a červené spektrální oblasti, a může současně pracovat na více frekvencích a vyzařovat bílé laserové světlo. Využití plynové lasery našly v oftalmologii k fotokoagulacím sítnice, díky modré složce záření argonového laseru, která je silně absorbována ve žlutém pigmentu xantofylu. Dále v dermatologii, tam je záření absorbováno kožními chromofory hemoglobinem a melaninem a tím dochází k selektivní absorpci světla pigmentovanými tkáněmi s následnou lokalizovanou tvorbou tepla a koagulací proteinů. [11]

Dalším typem plynového laseru je laser molekulární plynový, jako je například CO<sub>2</sub> laser, který pracuje ve střední části infračervené oblasti spektra, vykazuje vysokou účinnost a může vyzařovat velké množství energie. Právě vysokou energií a fokusací paprsku je možné získat laserový skalpel, který lze využít k bezdotykovému řezání tkání, ale i v průmyslu. [7]

Mezi nejdůležitější plynové lasery se řadí lasery excimerové. Excimery jsou tvořeny složkami, které se v základním stavu odpuzují, proto mohou existovat pouze v excitovaných elektronových stavech. Využívají dimerů vzácných plynů, halogenidů vzácných plynů nebo oxidů vzácných plynů. Příkladem je KrF excimer. Halogenidy vzácných plynů vznikají v excitovaném stavu snadno, protože chemické vlastnosti excitovaného atomu vzácného plynu se podobají vlastnostem alkalických kovů a alkalické kovy se snadno slučují s halogeny. Jejich záření má však skoro nepatrnou absorpční hloubku ve tkáni, maximum je pouhých 10 μm a proto se hodí na

odstraňování mikroskopických vrstev tkáně. V oftalmologii je často využíván laser ArF, zářící na vlnové délce 193 nm, k fotorefraktivní keratektomii. Interakce záření a tkáně se děje na principu fotodekompozice, přičemž dochází k vytrhávání molekul nebo jejich shluků z tkáně a ty mohou být následně použity k fluorescenční spektroskopické analýze tkáně. A protože jsou laserové pulsy velmi krátké, pouze 14-15 ns, je možné za použití vhodného počítačového softwaru sledovat na monitoru spektrální složení ošetřované tkáně a při přechodu do oblasti s jiným složením laser automaticky odpojit. [7]

#### **6.1.4. Polovodičové lasery**

Princip je podobný jako u ostatních laserů. Dochází k vytvoření populační inverze, což je situace, kde je více atomů excitovaných, než v základním stavu a nastává převaha stimulované emise nad absorpcí. Populační inverze se realizuje za pomoci injekčního elektrického proudu v diodě, kde napětí v propustném směru vyvolá injekci elektronů a děr do oblasti P-N přechodu, kde se rekombinují při stimulované emisi. Tento polovodičový laser se jinak nazývá laserová dioda (LD). Ta je podobná luminiscenční diodě (LED). U obou je zdrojem energie elektrický proud injektovaný do přechodu PN, ale záření emitované LED je generováno spontánní emisí na rozdíl od LD, kde záření vzniká stimulovanou emisí. Výhodou toho laseru je malá velikost, vysoká účinnost a integrovatelnost s elektronickými součástkami. Nevýhodou je větší rozbíhavost paprsku světla. Laserové diody generují záření o vlnové délce 670 nm. Polovodičové lasery pracují na vlnových délkách ultrafialové a infračervené oblasti a jejich výstupní výkony dosahují 2 W. [11]

#### **6.1.5. Plazmové lasery**

Aktivním prostředím je zde plazma zcela ionizovaného uhlíku, která vznikla ozářením uhlíkového terče CO<sub>2</sub> laserem, za odtržení všech elektronů. Tento laser je poté schopen generovat 20 ns dlouhé impulzy měkkého rentgenového záření s výkonem 100 kW a energií 2 mJ.

Dalším typem je laser plazmový rentgenový využíváný v rentgenové mikrolitografii při přípravách další generace polovodičových čipů a při dynamickém zobrazování, holografii jednotlivých buněčných struktur.

### **6.1.6. Lasery s volnými elektrony**

Laser s volnými elektrony, zkráceně FEL (free electron laser), využívá magnetického pole, které je tvořeno periodickou soustavou magnetů se střídavou polaritou. Jako aktivní prostředí se využívá svazek relativistických elektronů, které se v magnetickém poli pohybují rychlostí blízkou rychlosti světla. Ty sice nejsou vázané na atomy, ale ani nejsou volné právě kvůli vlivu magnetického pole. Změnou periody magnetického pole a změnou energie elektronů lze vlnovou délku emise ladit. Využití nacházejí v biofyzice, medicíně, povrchových studiích a v průmyslovém zpracování materiálů. [1,2,12,13]

## **6.2. Dle typu buzení aktivního prostředí**

### **6.2.1. Optické buzení**

Formou světelného záblesku dojde k přechodu atomů na vyšší energetickou hladinu a při návratu do základního stavu se část této energie vyzáří ve formě laserového záblesku. Používá se u pevnolátkových a kapalinových laserů.

### **6.2.2. Elektrickým polem**

Základem je elektrický výboj plynném prostředí laseru

### **6.2.3. Chemická excitace**

Využití energie exotermických chemických reakcí, například reakce vodíku s chlorem nebo fluorem, nebo energie ze štěpení molekul látky, například molekul jódu UV zářením [1]

V tabulce č. 1 je uveden přehled nejběžněji používaných laserů, včetně jejich fyzikálních parametrů.

**Tabulka č. 1: Rozdělení laserů**

TYPY LASERŮ	Aktivní médium	Typické výstupní parametry					
		Spektrální obor	Kontinuální výkon	Počet pulzů za sekundu	Délka pulzu	Energie pulzu	Poznámka
Laserující přechod - čerpání							
PEVNOLÁTKOVÉ Aktivní elektronové přechody kationtů příměsí v opticky transparentní matrici. Čerpání optické.	rubín ( $\text{Cr}^{3+}$ v safíru)	jednočárové, 693,3 nm	25 mW	1	1 – 2 ms	0,5 – 5 J	
				1	10 ns	1 J	"Q- switch"
	Nd : YAG (yttriohlinitý granát s $\text{Nd}^{3+}$ )	jednočárové, 1,06 $\mu\text{m}$	0,2 – 2 W	1 – 20	2 ms	až 200 J	
				0,5 – 30	20 ns	až 1 J	"Q- switch"
PLYNOVÉ NA NEUTRÁLNÍCH ATOMECH Podélným výbojem se excitují lehčí atomy (He), při srážkách e energie přenáší na těžší atom. Aktivní jsou přechody spojené s tímto přenosem nebo přechody mezi el. exc. stavy Ne.	He-Ne	jednočárové, 543,5 nm	0,5 – 2 mW				
		jednočárové, 632,8 nm	0,1 – 50 mW				
		jednočárové, 1,152 $\mu\text{m}$	5 – 20 mW				
		jednočárové, 1,523 $\mu\text{m}$	0,5 – 2 mW				
		jednočárové, 3,391 $\mu\text{m}$	5 – 15 mW				
S PARAMI KOVU Aktivní elektronové přechody kovových iontů ve výboji. Čerpání jako u předchozího typu.	He- Cd	jednočárové, 325 nm	1 – 20 mW				
		jednočárové, 441,6 nm	1 – 50 mW				
MOLEKULÁRNÍ IR aktivní vibračně rotační přechody v molekule plynu. Čerpání excitovaného vibračního stavu výbojem, většinou pulzním.	CO <sub>2</sub>	jednočárové, 10,6 $\mu\text{m}$	až 3 kW	1	1 $\mu\text{s}$	100 J	příčný výboj za atmosférického tlaku "TEA"
		kvazispojité, 9,1 – 11,1 $\mu\text{m}$	3 W	1 – 5	0,1 – 0,2 $\mu\text{s}$	0,2 – 2 J	laditelný
	CO	kvazispojité, 5,1 – 5,6 $\mu\text{m}$	5 W	0,5 – 5	1 – 2 $\mu\text{s}$	10 – 20 mJ	laditelný
	N <sub>2</sub> O	kvazispojité, 8 – 12 $\mu\text{m}$		1 – 5	0,3 $\mu\text{s}$	0,3 – 1 J	laditelný
	HF	kvazispojité, 2,8 – 3 $\mu\text{m}$		0,5 – 5	0,2 – 0,5 $\mu\text{s}$	10 mJ – 1 J	laditelný
DF	kvazispojité, 3,5 – 4,1 $\mu\text{m}$		0,5 – 5	0,2 – 0,5 $\mu\text{s}$	10 – 600 mJ	laditelný	
IONTOVÉ Emitují elektronové přechody v kladných iontech inertních plynů. V podélném kontinuálním výboji dochází k iontaci i excitaci. Ionty jsou udržovány v ose rezonátoru magnetickým polem. Přídavné zařízení pro elektrooptické otevírání dutiny rezonátoru v místě výstupních zrcadla umožňuje pulzní výstup.	Ar <sup>+</sup>	mnohočárové, 351,1 – 368,8 nm	0,2 – 2,5 W				
		mnohočárové, 457,9 – 514,5 nm	2 – 25 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	2 – 15 $\mu\text{J}$	
		jednočárové, 488 nm	0,5 – 6 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	0,5 – 3 $\mu\text{J}$	
		jednočárové, 514,5 nm	0,8 – 8 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	0,8 – 5 $\mu\text{J}$	
			5 – 20 W				chlazený vzduchem
	Kr <sup>+</sup>	mnohočárové, 337,5 – 356,4 nm	0,1 – 1,5 W				
		mnohočárové, 406,7 – 422,6 nm	0,1 – 1,5 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	0,07 – 1 $\mu\text{J}$	
		mnohočárové, 468 – 530,7 nm	0,3 – 3 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	0,2 – 2 $\mu\text{J}$	
		mnohočárové, 520,8 – 568,2 nm	0,3 – 4 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	0,2 – 3 $\mu\text{J}$	
		mnohočárové, 647,1 – 676,4 nm	0,6 – 5 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	0,4 – 3 $\mu\text{J}$	
		mnohočárové, 752,5 – 799,3 nm	0,03 – 1,5 W				
		jednočárové, 413,1 nm	1 – 2 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	0,7 – 1,5 $\mu\text{J}$	
		jednočárové, 530,9 nm	0,2 – 1,5 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	0,2 – 1 $\mu\text{J}$	
		jednočárové, 568,2 nm	0,1 – 1,2 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	0,1 – 0,8 $\mu\text{J}$	
		jednočárové, 647,1 nm	0,5 – 3,5 W	0,1 – 4 * 10 <sup>6</sup>	7 ns	0,3 – 3 $\mu\text{J}$	
jednočárové, 752,5 nm	0,1 – 1,2 W						

<b>EXCIMEROVÉ</b> Excimery se tvoří v pulzním výboji ve směsi inertního plynu a halogenu za zvýšeného tlaku. Laserové aktivní je elektronový přechod spojený s rozpadem excimeru.	ArF	jednočárové, 193 nm		0,05 – 200	15 ns	30 – 500 mJ	
	KrCl	jednočárové, 222 nm		0,05 – 200	10 ns	10 – 60 mJ	
	KrF	jednočárové, 248 nm		0,05 – 200	20 ns	0,08 – 1 J	
	XeCl	jednočárové, 308 nm		0,05 – 200	20 ns	40 – 500 mJ	
	XeF	jednočárové, 351 nm		0,05 – 20	10 ns	15 – 50 mJ	
<b>POLOVODIČOVÉ</b> Záření vzniká při rekombinaci vodivostních elektronů a děr na p- n přechodu. Čerpání se děje injekcí nositelů elektrickým proudem, méně často opticky nebo elektronovým svazkem.	Polovodičová dioda, nejčastěji soli Pb, Ga, In	spojité, laditelná v rozmezí 50 – 200 $\text{cm}^{-1}$ ; různá média pokrývají oblast 0,4 – 40 $\mu\text{m}$	0,01 – 1 mW	$10^2 – 10^8$	až 5 ns	$10^{-7} – 10^{-3}$	
<b>BARVIVOVÉ</b> Aktivní elektronové vibrační přechody $S_1 \rightarrow S_0$ . Čerpání opticky- výbojkou nebo laserem.	Roztok organického barviva	spojité, širokospektrální neb laditelné v rozmezí 40 – 70 nm; různá barviva pokrývají obor 300 nm – 1 $\mu\text{m}$	0,02 – 3 W	$0,5 – 10^7$	až 0,1 ns	10 $\mu\text{J} – 1 \text{ J}$	parametry laseru závisí na budícím zdroji
<b>MOLEKULÁRNÍ UV</b> Aktivní elektronový přechod rozšířený rotačními přechody. Čerpání pulzním (často běžícím) příčným výbojem.	$\text{N}_2$	jednočárové, 337 nm		20 – 1000	3 – 9 ns	0,01 – 1 mJ	

*Zdroj: PROSSER, CSC., Prof. RNDr. Václav. Experimentální metody biofyziky. Praha: Československé akademie věd, 1989. ISBN 80-200-0059-3.*

## 7. Neinvazivní aspekty působení laserů

Lasery jsou s vysokou účinností (až 90 %) schopny produkovat světlo monochromatické, koherentní a o vysoké hustotě zářivého toku. Kdybychom však ozařovali tělo pacienta jakkoliv intenzivním slunečním zářením, od plošné hustoty energie předané stimulačním laserem nás bude dělit několik řádů. I když lze namítnout, že paprsky slunečního světla nebo jiného tepelného, umělého zdroje lze soustředit spojnou čočkou a dosáhnout tak vysokých hustot energie, tak tato energie má spojitý polychromatický charakter a dlouhé vlnové délky s tepelným efektem. Při použití laseru však můžeme zvolit úzké spektrum, které dokáže pronikat až do hloubi tkání, aniž by převážil termický účinek, čímž právě můžeme dosáhnout chtěných stimulačních účinků. Významnou roli v optických vlastnostech tkání hrají voda, melanin a hemoglobin. Absorpce světla vodou od UV pásma k viditelné oblasti prudce klesá. Pokud tedy chceme eliminovat pohltivost vody v kůži, musíme pracovat ve viditelné, případně blízké infračervené oblasti. Ve viditelné oblasti má velkou pohltivost melanin, která ale klesá a v blízké infračervené oblasti je již přijatelná. Hemoglobin má malou pohltivost

pro červené a infračervené světlo. Pohltivost jakožto veličina je dána zákonem Johanna Heinricha Lamberta a Augusta Beera.

$$I = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon \cdot c \cdot l} \quad (7)$$

kde  $I$  je intenzita světla po průchodu látkou,  $I_0$  je intenzita světla vstupujícího,  $\varepsilon$  je molární absorpční koeficient dané látky,  $c$  je molární koncentrace látky a  $l$  je tloušťka vrstvy nebo dráha, kterou světlo v dané látce urazí. Z této rovnice lze snadno odvodit vztah

$$\log_{10} \frac{I_0}{I} = A = \varepsilon \cdot c \cdot l, \quad (8)$$

kde  $A$  je absorbance a je to veličina bezrozměrná.

Naopak pokud se budeme snažit, aby bylo světlo strukturami tkáně co nejvíce pohlcováno, tak například u hemoglobinu a obecně u všech hemoproteinů, budeme pracovat v oblasti 350 – 450 nm, kde mají výrazná absorpční maxima. Jedná se o součást tzv. Soretova pásu, který je platný pro všechny porfyriny. Pokud bude naším cílem předat energii fotonů krvi, tedy krevnímu barvivu budeme muset použít modré světlo. Nejenže je výborně pohlcováno porfyriny, ale i vlivem jejich fotoexcitace je možné uvolňovat atomární kyslík, který ničí případně se vyskytující mikroorganismy. Toho využíváme například při léčbě akné.

## 8. Aplikace stimulačního laseru- technické parametry

Aby laserové záření mohlo v těle pacienta splnit svoji úlohu, musí nejprve proniknout přes neporušenou kožní či slizniční vrstvu těla. Tento úkol je pro lasery, které jsou určeny k chirurgické aplikaci, jednoduchý, protože jejich svazek záření má vysoký výkon, velmi vysokou hustotu energie a je silně nerozbíhavý. Pro lasery, které jsou určeny na stimulaci, je tento úkol složitější. Ty živou tkáň nesmí porušit a proto je jejich zářivý výkon mnohem menší. Často se jedná o lasery polovodičové, které mají vysokou rozbíhavost svazku záření. Cílem totiž není zajistit úzký kolineární svazek paprsků, ale naopak bývá požadováno, aby laser ozářil velké plochy těla.

Nevýhodou je, že hlavice stimulačního laseru není v kontaktu s povrchem kůže (u laserových skenerů, sprch). Všechny tyto faktory vedou ke vzniku velké zrcadlové reflexe ve *stratum corneum* nebo na mastném a vlhkém povrchu kůže. Tímto může být ztracena až polovina energie vyzářeného světla. Povrch kůže by tedy měl být odmaštěn ještě před jeho vystavením laserovým paprskům, aby se pod povrch kůže dostalo co největší množství laserového záření. Další ztrátu záření může způsobit nevhodně

zvolený úhel vůči ozařovanému povrchu, tedy jiný než kolmý. Nejde jen o to, že s výkonnějšími lasery trvá ošetření kratší dobu, ale také o to, aby se docílilo požadované biologické odezvy. Jedním ze způsobů jak do léčených tkání přivést požadovaný zářivý výkon je využití optických světlovodů. Laserové záření se vede pouze od přístroje k tělu pacienta, tedy krátkou vzdálenost, takže optický útlum zde nehraje velkou roli a nemusí se používat křemenná vlákna (útlum řádově desetiny dB na km) a stačí použít vlákna plastová (útlum 100 dB na km). Na tak malou vzdálenost lze počítat pouze se ztrátami pár procent. Je však zapotřebí, aby plocha jader vlákna byla co největší a tím aby byl přenesen co největší zářivý tok. Dále je zapotřebí dokonalé navázání optického kabelu z jedné strany na laser a z druhé na tělo pacienta, nejlépe vakuovými přísavkami. Léčená tkáň je tímto způsobem stimulována až 90% výkonu vyzařovaného laserem.

Veličina, která by měla být spíše zmiňována je zářivý tok neboli zářivý výkon udávaný ve W (watech), namísto výkonu. Představuje souhrnný výkon vyzářený ze zdroje do celého jeho okolí. Pokud by nás ale zajímal výkon vyzářený jen v určitém úhlu, budeme hovořit o zářivosti. Zářivost vyjadřuje zářivý tok vyzářený do prostorového úhlu 1 sr (steradián). 1 steradián je roven rovinnému úhlu asi 66°. Další používanou radiometrickou veličinou, která se týká elektromagnetického záření, je hustota zářivého toku (výkonu) neboli „výkonová hustota“. Tato veličina udává, jaký výkon vychází z určité plochy („intenzita vyzařování“) nebo na určitou plochu dopadá („ozáření“) a dělí daný zářivý tok velikostí této plochy. Jednotkou je tedy  $W/m^2$ .

Pokud bychom omezili veličiny pouze na viditelné světlo, nelze veličinu zářivý tok, výkon dále používat a musí být nahrazena veličinou světelný tok, jehož jednotkou je lm (lumen). A pokud by byl tento světelný tok vztažen na jednotku plochy, tak by vyjadřoval osvětlení, jehož jednotkou je lux ( $lm/m^2$ ). A kdyby byl světelný tok vyzářen do prostorového úhlu, veličina se bude nazývat svítivost (světelná intenzita) s jednotkou kandela. Je důležité znát vztahy mezi těmito veličinami, protože výrobci uvádějí údaje v různých fotometrických veličinách a jednotkách. Například 1 cd (kandela) odpovídá  $1/683 W/sr$ , což je asi 1,5 mW/sr nebo laser o světelném výkonu 100 mW na vlnové délce 555 nm, s vyzařovacím úhlem  $10^\circ$ , zářivosti asi 100 mW/sr by svítivost odpovídala 68 cd.

Dalším problémem bývá uvádění odpovídající frekvenci místo vlnové délky. To však lze jednoduše přepočítat vztahem  $c = \lambda f$ , kde  $c$  je rychlost světla.

Aby bylo dosaženo stimulačního efektu je nutné na tkáň pacienta působit laserovým zářením po určitou dobu. Zářivý výkon působí po daný čas a tím dosáhne předání jisté



energie. Ta se udává v J (joulech), ale nahromadění zářivého výkonu na malé ploše kolmé k průchodu paprsků záření by se mělo spíše vyjadřovat v  $\text{J}/\text{m}^2$ .

Stimulační lasery jsou schopny modulovat své kontinuální záření amplitudově a to buď jednoduše zapnuto- vypnuto, kdy vznikají pulzní, téměř ideálně pravouhlé modulace nebo složitěji, například sinusovou amplitudovou modulací, trojúhelníkovou, atd. Lze zavést i modulaci frekvenční s pulzy konstantní šíře a časově proměnnou frekvenci. Všechny modulace by měly vést k cílenému stimulačnímu efektu laseru. Na jedné straně modulace snižují časové střední hodnoty zářivého výkonu a předané energie v čase (dávky) a na straně druhé jsou zde požadavky na lasery, aby bylo možné např. dosažení selektivních změn permeability buněčných membrán, přenášení kalcia přes membrány, mezibuněčné komunikace, navodit tonizační nebo tlumivé efekty apod.

I živé tkáně lidského organismu mají pomyslnou hranici biologického účinku zevních energií a platí, že průměrná pohybová energie molekuly v prostředí s teplotou  $36,5^\circ\text{C}$  dosahuje dle vztahu  $1,5 k T$ , kde Boltzmannova konstanta  $k$  je rovna  $1,380\,662 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ , hodnoty  $6,44 \cdot 10^{-21} \text{ J} = 0,04 \text{ eV}$  (elektronvoltů). Této energii fotonů odpovídá vlnová délka okolo  $30 \mu\text{m}$ . Avšak tepelný pohyb molekul je nepravidelný a molekuly se pohybují různě rychle. Tím pádem může být jejich energie až o řád větší. Molekuly živé tkáně musí bez jakékoliv újmy vydržet srážky s rychle tepelně se pohybujícími částicemi a tak je jasné, že jejich stavba musí být taková, aby vydržely i srážky s fotony s vlnovými délkami většími než několik  $\mu\text{m}$ . Což znamená, že interakce živé hmoty s elektromagnetickým zářením od desítek  $\mu\text{m}$  bude mít výlučně termický charakter. Jednou z výhod laserové stimulace spojené s jejím léčebným účinkem, je i právě tepelný efekt. I když se jedná o šetrnou fyzikální terapii, je zapotřebí intenzivnějšího působení stimulační laseroterapie a tím i vyšších zářivých toků a jejich výkonových hustot ve viditelné a blízké červené oblasti bez poškozujících termických efektů. Při výkonnější léčbě je nutné důsledně dbát na eliminaci základního rizika laserů, kterým je např. popálení kůže a sliznic, poškození zraku atd. I při relativně malém zářivém toku laserového paprsku může být sítnice oka vážně poškozena, je-li oko navíc ještě zaostřeno na nekonečno. Dopadáním infračerveného záření do oka, může být situace ještě zhoršena. I při vystavení oka viditelnému světlu, jsou fylogeneticky dané únikové reakce (mrknutí, zavření oka,...) příliš pomalé. Z tohoto důvodu je problematika rizik laserového záření součástí legislativních předpisů, které jsou určeny pro ochranu proti neionizujícímu záření. [2]

Stimulační lasery přirozeně generují lineárně polarizované elektromagnetické vlnění, zatímco sluneční světlo procházející atmosférou je pouze částečně lineárně polarizované. Velké množství živočichů je schopno vnímat polarizované sluneční světlo a tuto schopnost mohou využít např. k navigaci. Složené oko hmyzu (včely, mravenci) obsahuje analyzátor polarizovaného světla. Člověk však touto schopností neoplývá. Zatím není prokázáno, že by polarizované světlo mělo lépe a hlouběji pronikat do tkáně nebo, že by mělo jiné lepší účinky, i když se tento názor v odborné literatuře vyskytuje. [2,14]

Technické požadavky na stimulační laserové procedury nejsou vůbec jednoduché a oproti terapeutickým a operačním laserům chybí jasná zpětná vazba, která by poskytovala informaci o efektu léčby. Zatím jediná zpětná vazba, která může být získána je ta dlouhodobá, nepřímá a subjektivní. V poslední době se vědci snaží získávat informace o mikrovaskulární perfuzi a stupni okysličení tkáně již během podávání procedury, aby alespoň některé parametry procedury mohly být regulovatelné a vedly k optimalizaci účinků léčby. [2]

## **9. Mechanismus účinku laseru**

### **9.1. Fotochemické reakce**

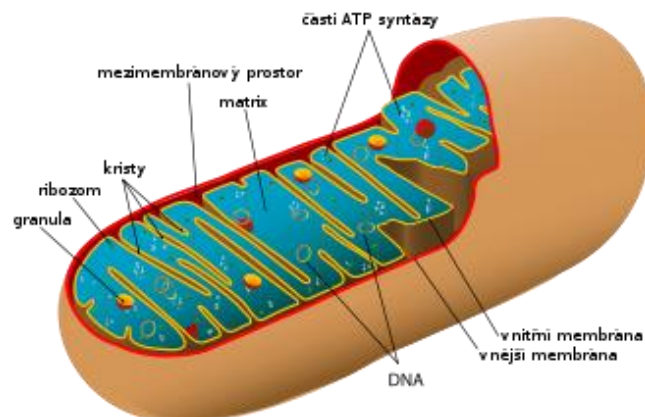
Základem fotochemických reakcí je získání energie za pomoci absorpce elektromagnetického záření. Ještě před absorpcí záření dochází k přechodu na excitovaný stav (dodáním energie), protože ten je reaktivnější. Během fotochemické reakce dochází k indukci syntézy řady organických látek, jejichž syntéza je jinou cestou velmi obtížná nebo nemožná. Může také indukovat rozklad ozařované molekuly, ionizaci, redoxní pochody apod. Pro fotochemické reakce platí dva zákony. Prvním je zákon fotochemie, který říká, že fotochemickou reakci látky lze vyvolat pouze světlem, které látka absorbuje. Tento zákon sepsal Christian von Grotthus a John Draper. Druhý zákon fotochemie uvádí, že fotochemická přeměna jedné molekuly si vyžádá absorpci jednoho fotonu, platí zde kvantový princip 1:1. A byl popsán Johannesem Starkem a Albertem Einsteinem. [2]

## 9.2. Mechanismus účinku laseru na organismus

Mechanismus působení laseru na tkáň se liší dle typu laseru. Lasery invazivní mají jeden cíl a to odpařit tkáň. Na rozdíl od laserů terapeutických, které se snaží tkáň léčit. Jejich mechanismus působení je tedy mnohem složitější. Před použitím jakéhokoliv laseru musí být posouzen mechanismus interakce, možnost průniku laseru, vlnová délka, frekvence, intenzita záření a hustota energie. [2]

Mechanismus přeměny světelné energie na jiné formy v organismu zatím není přesně popsán. Je však známo, že paprsek laseru při kontaktu s jakoukoliv překážkou ztrácí své fyzikální vlastnosti jako je monochromaticnost, koherence a polarita a to v důsledku lomu, odrazu, absorpce nebo transformace paprsku. Laser nepůsobí na tkáň přímo, ale až po přeměně na jinou formu energie. Hlavní roli v mechanismu působení laseru na organismus hrají mitochondrie, především mitochondrie fibroblastů. [2,15]

Mitochondrie jsou buněčné organely s vlastní DNA a proteosyntetickým aparátem, které se vyskytují ve většině eukaryotických buněk. Jejich velikost dosahuje řádově do několika mikrometrů a v buňce jich mohou být stovky až stovky tisíc. Velikostí připomínají tyčinku až ovál a mohou být připojeny na mikrotubuly cytoskeletu. Mitochondriální funkcí je díky buněčnému dýchání tvorba energeticky bohatého adenosintrifosfátu (ATP), který je v organismu využíván jako palivo pro jiné reakce. Na obrázku č. 6 lze vidět, že mitochondrie mají dvě biomembrány. Vnější membrána je pórovitá, a tak skutečnou ochranou je spíše membrána vnitřní, kde se také odehrávají důležité metabolické procesy. Vnitřek organel je vyplněn hmotou zvanou matrix, ve které se nachází záhyby neboli kristy na nichž probíhá buněčné dýchání. Mitochondrie se dále podílejí na Krebsově cyklu, beta-oxidaci mastných kyselin, buněčné diferenciaci, buněčné smrti a kontrolují i buněčný cyklus a růst buňky. [2,16,17]

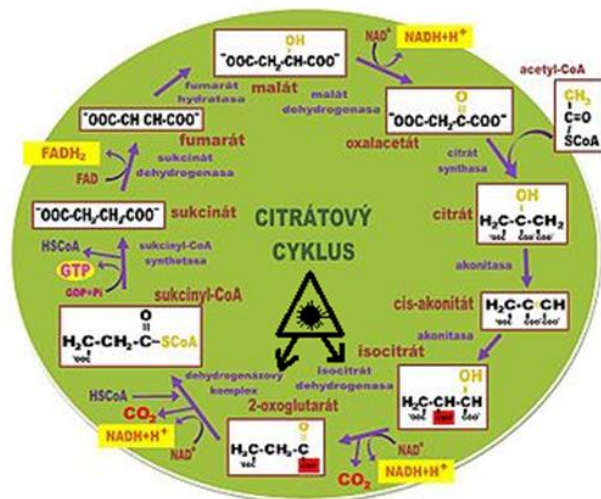


## Obrázek č. 6: Mitochondrie

Zdroj:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/37/Animal\\_mitochondrion\\_diagram\\_cs.svg/330px-Animal\\_mitochondrion\\_diagram\\_cs.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/37/Animal_mitochondrion_diagram_cs.svg/330px-Animal_mitochondrion_diagram_cs.svg.png)

Laserové světlo působí na optické vlastnosti mitochondrií. Zvyšuje potenciál mitochondriální membrány, protonový gradient, modifikuje dehydrogenázové reakce nikotinamidadeninnukleotidu, ovlivňuje aktivitu izocitrátdehydrogenázy a  $\alpha$ -ketoglutarátdehydrogenázy (2-oxoglutarát dehydrogenázy) v citrátovém cyklu. Se zvyšujícím se poměrem ATP/ADP klesá aktivita izocitrátdehydrogenázy, protože velké množství ATP inhibuje tento enzym, následně se však začne zvyšovat koncentrace citrátu. Působením laseru však dochází ke zvýšení koncentrace enzymu a tím se zvyšuje i množství ATP. Dále má působení laseru aktivující vliv na enzym  $\alpha$ -ketoglutarátdehydrogenázu, který je normálně inhibován zvyšujícím se množstvím sukcinyl-CoA a NADH. Laser také ovlivňuje mitochondriální respirační řetěz tím, že zvyšuje aktivitu enzymů cytochromoxidázy a adenzin trifosfatázy a zvyšuje syntézu DNA. [2,16]



Obrázek č. 7: Citrátový cyklus

Zdroj: [http://www.wikiskripta.eu/images/thumb/8/89/Citr%C3%A1tov%C3%BD\\_cyklus.jpg/350px-Citr%C3%A1tov%C3%BD\\_cyklus.jpg](http://www.wikiskripta.eu/images/thumb/8/89/Citr%C3%A1tov%C3%BD_cyklus.jpg/350px-Citr%C3%A1tov%C3%BD_cyklus.jpg)

Efekt terapeutického laseru a transformace světelné energie na jinou formu energie je založená na principu buněčné signalizace, komunikace. Když jedna buňka vylučuje signální molekulu, tak druhá buňka prostřednictvím receptorů signál přijímá a následně ovlivňuje různé buněčné procesy. Signálními molekulami, které pronikají do buňky, bývají proteiny jako například cytokiny, hormony a neurotransmitery. Nejdůležitějšími proteiny jsou však G- proteiny, které přenášejí signál ze signální molekuly na efektor v nitru buňky. G- proteiny se nachází na vnitřní straně buněčné biomembrány. Poté co jsou G- proteiny aktivovány, aktivují příslušný efektor a ten začne vyrábět druhého posla – cyklický adenosinmonofosfát (cAMP), který je schopen vyvolat řadu chemických reakcí.

Při aplikaci fototerapie se informace mezi buňkami přenáší buď přes GAP spojení (konexony), bystander efektem nebo chromatofotropní aktivitou lidské krve.

### 9.2.1. GAP junctions (nexus, mezerový spoj, komunikační spoj)

Je typem spoje, při kterém dochází k přiblížení membrán sousedních buněk a spojení je zprostředkováno membránovými kanálky neboli konexony. Konexony jsou proteinové komplexy, které jsou tvořeny šesti konexiny. Všechny šest konexinů se připojí na dalších šest konexinů v membráně sousední buňky. Mezi konexiny je volný prostor, jímž prochází molekuly, které jsou menší než 1,2 nm. Propojením konexonů dvou buněk vznikají hydrofilní kanály o průměru 1,5 nm. Tím dochází i k propojení

metabolickému a elektrickému. Avšak při poškození jedné buňky, se kanál uzavře, aby nebyly porušeny i buňky ostatní.

### **9.2.2. Bystander efekt**

Neboli syndrom nezúčastněného diváka se projevuje u buněk, které sice nebyly zasaženy zářením, ale vykazují stejnou reakci jako buňky v okolí, které ozářeny byly. Tento jev je spojován s aktivitou cyklooxygenázy-2, mitogenem aktivované proteinkinázy (MAPK) a s inhibicí fosforylace extracelulárně na signál reagující kinázy (ERKs). [2,17,18]

### **9.2.3. Chromatofotropní aktivita lidské krve**

Ozařováním krve laserem lze podnítit porfyriny k aktivitě a k jejich podílení se na metabolismu hemu. Porfyriny jsou barevné sloučeniny (díky obsahu delokalizovaných dvojných vazeb) a jejich elektrony jsou schopny absorpce elektromagnetických vln a pohlcení jejich energie, čímž mohou přecházet na vyšší energetické hladiny.

Dle současných studií a vyšetření bylo prokázáno, že pro aplikaci laserového záření je neúčinnější používat kontinuální nebo pulzní režim o frekvenci do 50 Hz (maximálně do 100 Hz), protože na větší frekvence už organismus není schopen odpovídat a jsou tedy biologicky neúčinné. Zde dochází k rozporu, protože často používanými terapeutickými lasery jsou lasery vysokovýkonné, jejichž frekvence běžně dosahuje 2000 Hz.

Vysokovýkonné nebo výkonové stimulační lasery, které se označují jako HPLT (*high-power laser therapy*) nebo HILT (*high intensity laser therapy*), pracují vždy s výkonem větším než 500 mW, na rozdíl od nízkovýkonných s jejich výkonem do 0,5 W. I doba jejich aplikace je mnohem kratší než u laserů s nízkým výkonem. V současné době jsou nejvyšší dosažitelné výkony 12–15 W. Vysokovýkonné lasery jsou lasery polovodičové, ale je možné je zkonstruovat i za použití pevnolátkového Nd: YAG laserového zdroje, který je krátkodobě schopen vydat výkon až 3 kW. Používá se hlavně na vlnové délce 810 nm, kde se jako hlavní chromofor uplatňuje cytochrom-c-oxidáza a předpokládají se účinky pouze stimulační. Ale je zde nutno vzít v potaz, že kromě fotochemických stimulačních účinků, zde bude možnost i účinků fototermických a fotomechanických. A kromě zahřátí tkáně k utišení bolesti může docházet i k jejímu tepelnému poškození až popálení. Proto se tyto lasery používají výlučně v pulzním

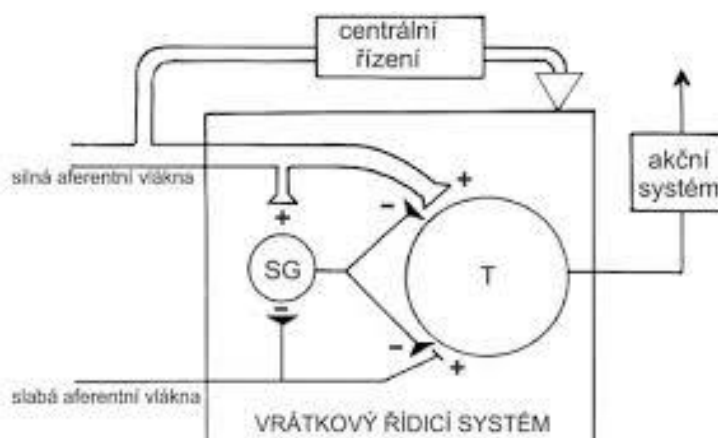
režimu nebo je využito vícekanálových systémů, které vedou laserové záření světlovodnými kabely k místům aplikace na těle pacienta. Tento způsob je nazýván laserová sprcha. [2]

## 10. Biologické účinky aplikace laseru

Hlavními účinky laseru na organismus jsou účinek analgetický, protizánětlivý a stimulační. To je podmíněno dalšími, například vazodilatačními, imunoprotektivními i radioprotektivními, účinky.

### 10.1. Analgetický účinek

Tohoto účinku se dosahuje především snížením citlivosti povrchových tkání nebo ovlivněním dějů na nervosvalových ploténkách. Laserové záření působí na lipidy v membránách nervových buněk, které jsou tam v dvojité vrstvě, mohou se relativně pohybovat a chovají se jako tekuté krystaly. Tím, že ovlivní lipidy, ovlivní i průchod iontů, především sodíkových, kanálky do nitrobuněčného prostoru. Blokáci průchodu iontů se zamezí nežádoucí depolarizaci membrán nervových buněk. Toho je využíváno při stimulaci nocireceptorů (volných nervových zakončení) a nocisenzorů u vratkového tříneuronového systému. Bolest je odtud vedena přes nemyelizovaná vlákna C a slabě myelizovaná vlákna A, která omezují postup bolesti přes zadní kořeny a zadní rohy do spinothalamické dráhy a následně do laterálního spinothalamického systému. Tento vratkový systém popsali Melzack a Wall [19], viz obrázek č. 8.



Obrázek č. 8: Schematické znázornění vratkové teorie mechanismů bolesti

Silná vlákna i slabá aferentní vlákna končí u buněk *substantia gelatinosa Ronaldi* (SG) a převodních buněk (T), které představují neurony ascendentních míšních drah. Aktivita

silných vláken zvyšuje a aktivita slabých vláken snižuje inhibiční účinek buněk *substantia gelatinosa*. Neurony SG vytvářejí na zakončeních primárních aferentních vláken synapse, depolarizují je, a tak snižují účinnost přenosu jejich synaptické aktivity. Na diagramu je spouštění centrálních řídicích mechanismů znázorněno silnou čarou vedoucí od silných aferentních vláken do centrálního aparátu řízení, jenž zpětnovazebně ovládá vrátkový řídicí systém.

Zdroj: [http://www.tigis.cz/images/stories/Bolest/2009/01/03\\_Vyklicky\\_Vlachova\\_bolest\\_1\\_09\\_web\\_zabezp.pdf](http://www.tigis.cz/images/stories/Bolest/2009/01/03_Vyklicky_Vlachova_bolest_1_09_web_zabezp.pdf)

Bolest je v míše uspořádána v rexedových míšních zónách. Povrchová kožní a akutní bolest je vedena do povrchových zón *substantia gelatinosa Rolandi* a do hlubších rexedových zón je vedena bolest viscerální. Drážděním vláken typu A, které vedou z oblastí s bolestí, se bolest snižuje. Dochází k inhibici přenosu bolestivých vzruchů z vláken zadních kořenů do zadních míšních rohů.

Druhým neuronem je *tractus spinothalamicus ventralis a lateralis* spojený s *lemniscus medialis* až do thalamu. Třetím neuronem je *tractus thalamocorticalis*, který vede do *gyrus postcentralis*.

Dalším mechanismem, který zabraňuje depolarizaci membrány neuronů, je zvýšená syntéza ATP. ATP je nezbytným zdrojem energie neuronů, neboť zajišťuje mechanismus sodno-draselné pumpy. Mechanismus pracuje proti gradientu, a proto je zapotřebí dostatku energie k zajištění jeho funkce. Laserové záření působí stabilizujícím efektem na rovnovážný klidový membránový potenciál nervové buňky a to buď blokádou kanálů pro přestup iontů nebo podpořením syntézy ATP. Pokud je totiž buňka v rovnovážném stavu, přenos bolestivého vzruchu je na lokální úrovni snížen.

Na ozáření nízkovýkonným laserem je citlivá chemická substance acetylcholin. Pokud dojde k vzniku potenciálu na neuromuskulární ploténce, dochází k depolarizaci presynaptických zakončení a tím k otevření  $Ca^{2+}$  kanálů. Po vylití  $Ca^{2+}$  nastává zvýšení prahu pro aktivaci rychlých  $Na^+$  systémů a dochází k synchronnímu uvolňování acetylcholinu ze synaptických váček. Když se acetylcholin uvolní a dostane se k acetylcholinovým receptorům, dojde k jejich aktivaci a ta vede k otevření membránových kanálů. Ty se stanou průchodnými pro ionty  $Na^+$ ,  $K^+$  a  $Ca^{2+}$ . Na úroveň klidového potenciálu se neuromuskulární ploténka vrátí do 5 ms, ale během toho 1-2 ms protéká proud. Svalový spasmus a bolest na nervosvalové ploténce jsou sníženy aktivitou v daném místě. Aktivitou se rozumí, když laser působí na dané místo, dochází k zvýšení aktivity acetylcholinesterázy, k urychlení rozkladu acetylcholinu na cholin a



kyselinu octovou, ze kterých je následně acetylcholinesteráza resyntetizována po jejich zpětné difuzi presynaptického zakončení.

Laserového záření je možno využít i k ovlivnění uvolňování endogenních opioidů. Tyto látky se řadí mezi nejčastěji využívaná anestetika a analgetika. Lidský organismus je schopen si některé endogenní opioidy sám vytvářet a to štěpením prekurzorové bílkoviny, např. encefaliny, endorfiny, dimorfiny.. Základem těchto látek je H- tyrozin- glycin- fenylalanin. Liší se pouze v poslední složce, ta může být methionin- OH nebo leucin- OH. Ty se následně váží na opioidní receptory, které dělíme na 3 třídy

- $\mu$ - receptory – jejich aktivací dochází k supraspinální analgezi
- $\kappa$ - receptory – po aktivaci způsobují analgezi na spinální, supraspinální úrovni
- $\delta$ - receptor - po aktivaci způsobují analgezi na spinální, supraspinální úrovni

Uvolnění endorfinů může být vyvoláno i stimulací akupunkturálních bodů laserovým zářením. Po lokální aplikaci laseru narůstá sekrece kyseliny 5-hydroxyindoloctové v moči, která vzniká odbouráváním neurotransmiteru serotoninu, který má inhibiční účinek v nocicepci a zároveň zvyšuje permeabilitu cév a uvolňuje spazmy hladké svaloviny.

Dalším účinkem aplikace laserového záření je zmenšení otoku, díky zlepšené regeneraci krevních a lymfatických cév, vazodilataci a také díky urychlení resorpce bílkovin a intersticiální tekutiny. [2,18]

## **10.2. Protizánětlivý účinek**

Při aplikaci laseru na místo, které je postiženo zánětem, dochází k aktivaci přirozených protizánětlivých procesů, kterými organismus na zánět reaguje. Zánět je definován jako komplexní obranný mechanismus zahrnující především imunitní děje a může být způsobený patogenními mikroorganismy, traumaty a noxami různého původu.

Zánět je charakterizován 5 znaky:

- calor – zvýšená teplota v místě zánětu, způsobená zvýšeným prokrvením cév

- dolor – bolest, která je způsobena narušením nervových zakončení histaminem, prostaglandiny nebo jinými mediátory zánětu, nebo mechanicky dilatovanými cévami, otokem či poškozením tkáně
- tumor – otok nebo zduření v důsledku úniku tekutiny z dilatovaných a tím propustnějších cév
- rubor – zarudnutí vyvolané dilatací cév
- functio laesa – snížená funkce zanícené tkáně

Většinu z těchto jevů způsobuje histamin uvolňující se při degranulaci žírných buněk. Tu spouští komplement.

Jednou z prvních reakcí na zánět je koagulace fibrinu a nahromadění lymfatické tekutiny, což oddělí postiženou a zdravou tkáň. Dalšími časnými složkami obranného mechanismu organismu jsou mikrofágy, které fagocytují cizí elementy a uvolnění neutrofilních leukocytů do krve, které se do místa zánětu dostávají ulpíváním a přestupem přes cévy (marginace, diapedéza) nebo přes koncentrační gradient chemotaxí. Při zánětu se zvyšují i počty monocytů v kostní dřeni. [2,18,20]

Důležitou roli zde hraje oxidativní metabolismus fagocytů, kdy reaktivní kyslík narušuje mikroorganismy a stimuluje membránu fagocytů. Toho je docíleno díky tomu, že neutrofilny a makrofágy při fagocytóze emitují světlo červených a infračervených vlnových délek. Z toho důvodu laserové záření v červené a infračervené spektrální oblasti příznivě ovlivňuje přirozené obranné mechanismy, nespecifickou humorální obranu, stimuluje syntézu komplementu, cytokinů, lysozomů, interferonu a aktivitu fagocytů.

Protizánětlivý účinek laseru spočívá také ve vzájemném ovlivňování prozánětlivých a protizánětlivých cytokinů. Laserové záření snižuje množství prozánětlivých cytokinů IL-1 $\beta$  a IL-6 v monocytech a s dlouhodobým účinkem (týden po ozáření) vyvolává expresi protizánětlivého cytokinu IL-10. [2]

### **10.3. Stimulační účinek**

Tento typ účinku je využíván ke stimulaci hojení ran jakéhokoliv původu, pokud však nedošlo ke kontaminaci rány patogeny. Podstatou hojivého účinku je ovlivnění dýchacího řetězce laserem. Protože tento proces probíhá na vnitřní membráně mitochondrií, je přísun redukovaných koenzymů z citrátového cyklu a  $\beta$ - oxidace

zajištěn a doprovází ho postupné uvolňování energie ve formě ATP. Ovlivnění spočívá především ve zvýšení aktivity enzymů cytochromoxidázy a adenosintrifosfatázy, zvýšení syntézy DNA a v urychlení migrace keratinocytů. Avšak svým účinkem nezasahuje do fyziologické diferenciaci a syntézy keratinu a tím ani do tvorby epidermis.

Na fibrocyty aplikace laseru působí dilatací a vyvinutím Golgiho aparátu, zmnožením membrán endoplazmatického retikula a zmnožením mitochondrií.

Na osteoblasty má laserové záření rovněž hojivé účinky a způsobuje urychlení kalcifikace v důsledku akumulace vápníku. Avšak buněčná proliferace se zvyšuje pouze v případě, že jsou buňky ve fázi aktivního růstu. Hojení tedy spočívá spíše v urychlení tvorby mitochondriální ATP, ve změnách struktur membránových lipidů, v obratu iontové výměny, katabolismu látek a ve vazodilatačním účinku na lymfatický systém, jímž bude urychlena výměna a přenos tekutin mezi živou kostní tkání. [2]

## **11. Terapeutické využití vysokovýkonných laserů**

Za lasery s vysokým výkonem jsou považovány ty, které mají výkon zdroje větší než 0,5 W. Používají se v tzv. HPLT = high-power laser therapy, neboli vysokovýkonné laserové terapii, jejíž součástí je i tzv. HILT = high-intensity laser therapy, vysokointenzivní laserová terapie.

Efekt HPLT je dán vysokou expozicí ozařované tkáně, v závislosti na charakteru impulzu a emitujícím laserovém prostředí. U laserů s vysokým výkonem je zapotřebí pulzní aplikace, a to z důvodu možného pocitu pálení při aplikaci, přehřívání tkáně, překrvení, zarudnutí a bolesti. Dalším důvodem je i životnost laserové sondy.

Hlavním efektem je stimulace biochemických a nepřímých fotomechanických procesů; dále lokální aktivace fibroblastů, zvýšená produkce cytokinů, stresem aktivovaných proteinkináz a proteinů teplotního šoku (Hsp 70), zrychlení syntézy extracelulární matrix, obnova pojivových tkání, regenerace tkání a ustálení tkáňové homeostázy. Výrazný je i vazodilatační efekt na lymfatické cévy, dále zlepšení pružnosti tkáně, vliv na remodelaci kolagenu (zvýšení produkce kolagenu I až o 30 % a kolagenu II o 90 %), depolarizace nervosvalové ploténky, čímž je dosažen analgetický účinek. Stimulačního účinku je dosaženo obdobně jako u nízkovýkonného laseru.

HPLT do jisté míry zpochybňuje Arndtův-Schultzův zákon, který uvádí, že při vyšší hustotě energie se kladný účinek laseru vytrácí. Z praxe je však prokázáno, že vysokovýkonný laser nejen zkracuje dobu terapie, ale i snižuje počet aplikací.

HPLT může být aplikována 4-6 krát v 7-14 denním rozmezí:

- staticky – aplikace na jeden bod (laserakupunktura)
- plošně – meandrovitým pohybem sondy
- plošně – za současného aktivního pohybu kloubu nebo při změně svalového tonu

Za cíl HPLT tedy považujeme efekt analgetický, myorelaxační a protizánětlivý.

Využívá se například u těchto diagnóz – akutní svalová poranění, svalové spazmy, syndrom karpálního tunelu, chondropatie, artrózy, ulcus cruris atd.

Kladné hodnocení stimulačního, protizánětlivého, analgetického a antiedematózního účinku v ne hluboko uložených strukturách dosahuje i MLS terapie = Multiwave Locked System. Jejím principem je aplikace dvou laserových paprsků současně. Jeden z nich o vlnové délce 808 nm, v kontinuálním režimu a druhý o vlnové délce 905 nm v pulzním režimu, přičemž díky jejich spolupráci dochází ke zvýšení efektu léčby.

Používá se především k léčbě měkkých tkání, popálenin, proleženin, bércových vředů atd.

Aplikace se provádí 6-10 krát po 24 hodinách a účinku je dosaženo již po 2-3 dnech. Při použití vysokovýkonného laseru je zapotřebí dodržovat maximální bezpečnost práce, hygienické předpisy a obsluhující personál musí být dostatečně proškolen. [2]

## **12. Využití laseroterapie v jednotlivých lékařských oborech**

### **12.1. Dermatologie, estetická medicína**

Přes všechny klady, které laseroterapie v oboru dermatologie má, jako je například účinek protizánětlivý, imunomodulační, analgetický, vazodilatační, antiedematózní, stimulační apod., existují i zápory, které se často objevují v pracích publikovaných o neinvazivní laserové terapii. A to z toho důvodu, že tato metoda stále není zcela prostudována a pokud není známa správná dávka ozáření nebo byla-li nesprávně zvolena, může snížit kladný efekt výsledku nebo dokonce vyvolat nežádoucí účinky.

Principem neinvazivní laserové terapie je pravděpodobně absorpce červeného nebo blízkého infračerveného světla cytochrom-c-oxidázou v chromoforech mitochondrií, která může způsobit fotodisociaci oxidu dusíku z cytochrom-c-oxidázy, což má inhibiční účinek, který může vést ke zvýšení aktivity enzymu, transportu elektronů, dýchání pomocí mitochondrií a produkci ATP.

V laseroterapii se používá k ovlivnění povrchově uložených struktur záření o vlnové délce 600 – 700 nm, pro hlouběji uložené struktury záření o vlnové délce 780 – 950 nm. Je totiž dokázáno, že v rozmezí 600 – 1070 nm je penetrace do tkání neúčinnější, a to z toho důvodu, že melanin a hemoglobin (hlavní tkáňové chromofory) vykazují největší absorpci na vlnových délkách do 600 nm.

V dermatologii je světloléčba používána jako doplněk léčebných postupů, kde je zapotřebí stimulace hojení ran, reparace tkání, prevence vzniku nekrózy, zmírnění zánětu a edému, analgezie. [2,15]

Případy u nichž je léčba laseru využívána:

#### **12.1.1. Ulcus cruris diabeticorum**

V případě diabetického vředu je nutné nejprve diabetes kompenzovat a zlepšit periferní mikrocirkulaci, která bývá v důsledku mikroangiopatie (porušení drobných cév) snížena. Aplikace laseru má příznivý vliv na mikroangiopatii a na snížení bolestivosti. [2]



**Obrázek č. 9: Diabetický vřed na palci dolní končetiny**

[Zdroj: http://pictures.doccheck.com/de/photo/6964-ulcus-bei-diabetes-mellitus](http://pictures.doccheck.com/de/photo/6964-ulcus-bei-diabetes-mellitus)

### 12.1.2. Ulcus cruris venosum

Před ošetřením vředu laserem je zapotřebí z postiženého místa odstranit nekrotickou tkáň, protože přes ni laserové záření proniká hůře. Poté se laserové světlo aplikuje bodově z vnější strany, popřípadě pomocí skeneru, tak aby proniklo i do hlubších struktur. [2]



**Obrázek č. 10: Defekt na dolní končetině způsobený vředem**

[Zdroj: http://www.enzyklopaedie-dermatologie.de/artikel?id=4096](http://www.enzyklopaedie-dermatologie.de/artikel?id=4096)

### 12.1.3. Absces, furunkl

I zde se jedná o doplněk léčby. Účinek laseroterapie je vazodilatační a protizánětlivý. [2]



**Obrázek č. 11: Kožní absces způsobený MRSA *Staphylococcus aureus***

[Zdroj: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Absces](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Absces)

#### 12.1.4. Acne vulgaris

Při léčbě akné je zapotřebí dodržovat správnou životosprávu (strava, spánek, ...) a osobní hygienu. Před tím, než je aplikována laseroterapie, je akné léčeno retinoidy, antibiotiky a dalšími místními prostředky. Další fází může být hormonální terapie. Poté nastupují doplňkové, individuální možnosti léčby jako je chemický peeling, kryoterapie, dermabraze, chirurgické metody a právě laseroterapie. [21]

Laser není určen pouze k léčbě akné, ale i k hojení hypertrofických jizev vzniklých z akné. Účinek je tedy protizánětlivý i hojivý a má až 70 % účinnost u pacientů po 3 měsíční léčbě.

Studie prokazují, že při kombinaci červeného (660 nm) a modrého (415 nm) světla nebo kombinaci červeného světla (803, 809 nm) s lokální aplikací fotosenzibilizující látky (indocyaninová zeleň) dosahuje terapie lepších výsledků.

V prvním případě dochází nejprve k absorpci modrého světla porfyriny, které jsou vylučovány bakterií *Propionibacterium acnes*. Jejich následnou excitací dojde k uvolnění kyslíku a tím k narušení bakteriální stěny. Následuje protizánětlivý účinek červeného světla a po několika aplikacích i výrazné zlepšení. [22]

V druhém případě je na očištěnou pleť nejprve aplikována indocyaninová zeleň a poté je kůže ošetřena laserem. Předpokládá se, že indocyaninovou zeleň vychytávají bakterie *Propionibacterium acnes*, keratinocyty a sebaceózní buňky. A to je důvod, proč se musí hlídat hustota energie záření, aby nedošlo k poškození keratinocytů a kůže.

V praxi nejpoužívanějším laserem je laser Helium-Neonový, s možnou kombinací s infračerveným světlem. [2,23]

I u pacientů, kteří se zdají vhodnými kandidáty, ale nemusí dojít k žádnému účinku. Je také možné, že dojde i k nežádoucím účinkům jako jsou puchýře, dočasné ztmavnutí nebo zesvětlení pleti či vytvoření nových jizev. [24]



**Obrázek č. 12: Zarudnutí tváře, doprovázené červenými pupínky jako typický znak zaníceného akné**

*Zdroj: <http://www.skindsight.com/adult/acneVulgaris.htm>*

#### **12.1.5. Rosacea**

Příčina vzniku není známá a znám není ani lék. Protizánětlivý a stimulační účinek laseru se využívá alespoň ke zmírnění projevů růžovky, jako jsou začervenání obličeje, pupínky, červené linky pod kůží, oteklý nos, ztlustění kůže. [25]



**Obrázek č. 13: Závažný případ růžovky**

*Zdroj: <http://www.skindsight.com/adult/rosacea.htm?Imiw9cApl>*

#### **12.1.6. Eczema atopicum**

Příčinou atopického ekzému je reakce v kůži podobná alergii, která vede k otokům a červenání. Kůže atopiků je citlivější a náchylnější k dalšímu poškození



kvůli absenci určitých proteinů. Mezi příznaky atopického ekzému řadíme puchýřky, suchou kůži po celém těle, začervenání kůže a svědění, atd.

Prvním typem léčby je promazávání postižených míst, popřípadě celého těla, hydratačními krémy, steroidními krémy, užívání antihistaminik, neškrábání postiženého místa, vyhýbání se alergenním potravinám, pracím přípravkům, prudkým změnám teploty apod.

Další léčbou je užívání antibiotických krémů (v případě infekce kůže), imunosupresivních léků, steroidů a laseroterapie. [26] Léčba laserem u atopického ekzému se provádí převážně u dětských pacientů, z důvodu kontraindikací jiných postupů. [2]

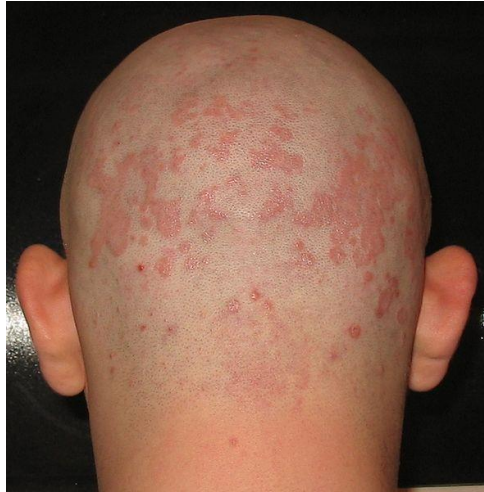


**Obrázek č. 14: Atopický ekzém u malých dětí**

*Zdroj: <https://medlineplus.gov/ency/imagepages/2390.htm>*

#### **12.1.7. Dermatitis seborrhoica**

Nebolí papuloskvamózní kožní onemocnění, opět příčina neznámá. Léčba bývá zahájena antimykotiky, kortikosteroidy a doplněna laseroterapií. [27]



**Obrázek č. 15: Akutní forma seboroické dermatitidy dospělých**

*Zdroj: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Seborrhoeic\\_dermatitis\\_head.jpg](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Soubor:Seborrhoeic_dermatitis_head.jpg)*

### **12.1.8. Psoriasis**

Lupénka je další nemocí, na kterou stále není znám lék. K jejímu zmírnění, dočasnému potlačení se používá např. methotrexate nebo novější biologické léky. Lékaři však preferují léčbu laserovým světlem, která je ale pro mnoho pacientů příliš drahá, protože jde o dlouhodobou léčbu. [28]

Využívá se kombinace záření o vlnových délkách 830 nm a 630 nm z LED zdroje. A to především u pacientů s rezistencí ke konvenční léčbě. [2]

Nové studie však prokazují, že lasery s fokusovanou vláknovou optikou, které za pomoci kontaktní koncovky působí vysokými dávkami pouze v místě aplikace (bez zasažení okolní zdravé kůže), dokáží lupénkové ložisko již po 1-2 aplikacích oslabit a po 4-6 aplikacích zcela odstranit. Jedná se ale o studie, které jsou ve fázi výzkumu a nemají dostatek dat z dlouhodobého hlediska. [28]



**Obrázek č. 16: Lupénka**

*Zdroj: <http://remedioscaserosparalapsoriasis.blogspot.cz/2015/06/psoriasis-y-su-tratamiento-tratamiento.html>*

#### **12.1.9. Vitiligo**

U vitiliga dochází k destrukci buněk, které dodávají barvu vaší pleti. Tím vznikají na kůži světlé fleky a to především a obličejí, popř. po celém těle. [29]

Léčba, zmírnění příznaků má mnoho možností. První z nich je používání kosmetických přípravků, jako jsou make-upy, samoopalovací přípravky apod., které zakryjí depigmentovaná místa. Dalším typem je léčba pomocí lokálních kortikosteroidů. Je však potřeba pacienty monitorovat, a to z důvodu, že po delší aplikaci kortikosteroidů může dojít k vysušování a ztenčení kůže, posléze i k její atrofii. Dále pacienti užívají různé minerály, vitamíny, aminokyseliny, enzymy, léčivé byliny, ginkgo bilobu atd. V neposlední řadě je indikována léčba excimerovým laserem nebo UVA zářením. Ta má sice skvělé výsledky, ale netrvají dlouho. Po skončení ozařování se skoro u poloviny pacientů výsledky vytratily v rozmezí jednoho roku. Pacienti, kterým už moc pigmentu nezbyvá, mají možnost si zbývající pigment nechat odstranit, ale tato možnost není často využívána. [30]



**Obrázek č. 17: Vitiligo**

*Zdroj: <http://www.aocd.org/?page=Vitiligo>*

#### **12.1.10. Alopecie**

Ztrátě vlasů u žen a především u mužů se dá bránit různými prostředky: léky na předpis (Finasteride, kortikosteroidy), léky bez předpisu (minoxidil), šampóny proti vypadávání vlasů a jejich obnovu (Alpecin), oleji na bázi levandule (ve směsi s jinými bylinami) nebo laserovými zařízeními ve formě hřebenů, kartáčů apod. Dlouhodobá efektivita a bezpečnost u těchto zařízení ale není známá. [31,32]

Používání neinvazivní laseroterapie se stalo komerčně velmi úspěšné. Vede jak ke stimulaci růstu vlasů, tak k jejich posílení a zvýšené pigmentaci, aktivaci mikrocirkulace pokožky hlavy, stimulaci metabolismu a regulaci neurohumorálních pochodů. Využívá se laser He-Ne, He-Ne v kombinaci s infračerveným světlem a InGaAl laser. [2]



**Obrázek č. 18: Alopecie**

*Zdroj: <http://www.healthkeeda.com/alopecia-areata/>*

### 12.1.11. Jizvy

Neinvazivní laserovou metodou dochází k zlepšení vzhledu jizev zjemněním jejich pigmentace a stimulací produkce kolagenu bez poškození okolní tkáně s minimální dobou hojení. Může být tedy docíleno vyblednutí, zmenšení či ztenčení jizvy. Jako každá léčba, má i laseroterapie možné nežádoucí účinky, jako je bolest, otok, změna zbarvení, krvácení, infekce, atd. Většina nežádoucích následků, které lze po laseroterapii pozorovat (zarudnutí, otok, pálení), však zmizí během několika hodin či dní. [33,34]



**Obrázek č. 19: Srovnání jizvy před a po aplikaci laseroterapie**

[Zdroj: http://www.institutkrasy.cz/sluzby/procedury/laserove-vyhlazovani-a-redukce-jizev-strii-a-akne/](http://www.institutkrasy.cz/sluzby/procedury/laserove-vyhlazovani-a-redukce-jizev-strii-a-akne/)

### 12.1.12. Fotorejuvenace

Omlazení pleti, redukce vrásek, hnědých skvrnek, nestejně textury pleti atd. lze též zajistit laseroterapií. Jediný problém je v tom, že pleť sice bude omlazená, ale stárnout bude dál. [35]

Mechanismem účinku neinvazivního laseru je pravděpodobně zvýšená produkce kolagenu a jeho snížená degradace, zvýšená exprese TGF- $\beta$  (Transforming Growth Factor) a PDGF (Platelet Derived Growth Factor), zvýšená mikrocirkulace, omezená apoptóza fibroblastů, pokles IL-6 a vyšší aktivita TIMP (Tkáňový inhibitor metaloproteináz). [2,15,36]

Mechanismus je stejný, ale technologie mohou být použity tři. První z nich je ablativní s úplnou obnovou kůže - celý povrch pokožky je obroušen (sejmut). Druhý typ je také ablativní, ale odstraněny jsou pouze malé plošky pokožky a třetí typ je neablativní, kde dochází k super zahřátí mnoha malinkých plošek pokožky. Jaký typ

technologie bude využit, záleží na rozhodnutí lékaře, přičemž všechny tři typy mají výborné výsledky. Možné nežádoucí účinky se mohou objevit v podobě zarudnutí, otoku, krvácení, infekce, bolesti, zjizvení nebo změny zbarvení kůže. Ty by však měly do několika dní ustoupit. [35]



**Obrázek č. 20: Fotografie před a po zákroku laserem**

*Zdroj: <http://www.laserliberec.cz/6/fotorejuvenace/esteticky-zakrok.htm>*

### **12.1.13. Lymfedém**

Lymfedém horní končetiny (coby komplikace po mastektomii) se redukuje nejprve laseroterapií míst blokády a žizev, např. fibrózy mezi hrudní stěnou a podpažní jamkou, následně se aplikuje podél průběhu lymfatických cév až na konec končetiny. V klinických studiích byl prokázán antiedematózní účinek téměř u 20 % patientek po mastektomii, ale při dlouhodobém sledování se edémy vrátily. Podobně je tomu u dolních končetin, kde se začíná v oblasti pasu a třísel. K ozařování se používá He-Ne laser nebo laser GaAs v kombinaci se skenerem a následuje manuální lymfodrenáž. [2]



**Obrázek č. 21: Lymfedém**

*Zdroj: <http://www.lymfoderma.cz/lymfologie/lymfedem.html>*

#### 12.1.14. Odstranění tetováže

Tetování, jakožto moderní doplněk, může omrzet nebo se stát jakousi překážkou, kterou chtějí pacienti z osobních důvodů odstranit. K tomu se využívá buď dermabraze, chirurgické odstranění, laserová vaporizace, lokální produkty, překrytí jiným tetováním nebo laseroterapie.

Odstranění tetování laserovým zářením funguje na principu shody barvy tetování s vlnovou délkou laserového záření. Pro černý inkoust se využívá záření o vlnové délce 1064 nm, zelený 755 nm, modrý 585 nm a pro červený 532 nm, tzn. lasery alexandritové, Nd:YAG nebo CO<sub>2</sub>. Mechanismus účinku závisí na velmi rychlém super zahřátí inkoustu, čímž dojde k rozrušení inkoustu na malinké částičky, které jsou imunitním systémem odstraněny. Tento proces je ale pomalý a vyžaduje mnoho sezení, která nejsou levná. Na trh se však dostávají inkousty, které jsou vytvořené tak, že je lze odstranit pouze 1-2 laserovými ozářeními.

Po ozáření bývá kůže dočasně oteklá, někdy s puchýřky. Jako nežádoucí účinky jsou uváděny již zmíněné puchýře, dočasné ztmavení kůže, dočasné nebo trvalé zesvětlení kůže, zjizvení nebo neefektivnost. [34,37]



**Obrázek č. 22: Fotografie před a po aplikaci laseru**

[Zdroj: http://www.skindsight.com/cosmetics/laserTattooRemoval.htm?Imiw9cApl](http://www.skindsight.com/cosmetics/laserTattooRemoval.htm?Imiw9cApl)

#### 12.1.15. Změny pigmentace

Změny v pigmentaci, př. hyperpigmentace, jsou léčeny lasery jednotlivých barev na základě selektivní fototermolýzy. Nejčastěji se používá laserové světlo o vlnových délkách 488–715 nm nebo 780-830 nm, tzn. lasery alexandritové, CO<sub>2</sub>, Nd:YAG. [2]



**Obrázek č. 23: Fotografie před a po zákroku laserem**

*Zdroj: <http://www.laserliberec.cz/18/melasma/esteticky-zakrok.htm>*

#### **12.1.16. Strie**

Strie na kůži ňader, břicha nebo dolních končetin jsou nejprve ošetřeny a ochlazeny desenzibilizující směsí Aloe Vera s asielenem a Echinaceou. Následně je aplikováno záření měďnatobromidového laseru o vlnové délce 577 nm, která má maximální absorpční vrchol pro hemoglobin. Z výsledků studie vyplývá, že laser významně zmírňuje tvorbu jizev a účinek je dlouhodobý. I po 2 letech byly výsledky morfologického vyšetření jizev stejné. [2]



**Obrázek č. 24: Strie**

*Zdroj: <http://zdraveomlazenici.cz/strie/161>*



### 12.1.17. Cévní léze, varixy

Léčbě lidově zvaného "ohně", křečových žil, popraskaných drobných cévek na dolních končetinách napomáhá laser. V dnešní době se využívá KTP laser (potassium-titanyl-phosphate crystal) se zdvojenou frekvencí a dlouhým pulzem, který nahradil lasery argonové a barvivové. Po jejich aplikaci docházelo ke vzniku nechtěných purpur a modřinek. KTP laser však proniká dostatečně hluboko do cévy, a tím, že nepůsobí bodově, nevytváří nárazové vlny ani purpury. Je navíc doplněn chlazenou safírovou sondou, která také vzniku purpur zabraňuje a má navíc analgetický efekt.

Jiným používaným typem je diodový laser, jehož principem je zavedení optického vlákna do žíly, kam jsou poté přenášeny laserové pulzy. Při vysouvání vlákna z žíly se žíla zaslepuje a tím brání zpětnému toku krve. [34,38]



**Obrázek č. 25 : Varix dolní končetiny**

[Zdroj: http://new.propedeutika.cz/?p=229](http://new.propedeutika.cz/?p=229)

### 12.1.18. Odstranění nežádoucího ochlupení

I tento nepříjemný estetický problém může být vyřešen pomocí laseru, a to trvale. [38] Nechtěné chloupky na obličeji, v podpaží, v oblasti třísel či jiných oblastech jsou za pomoci laseru zahřáty a tím dlouhodobě odstraněny. Cílem laseru je narušit pigment (melanin) ve vlasové cibulce chloupku. Ideálním kandidátem pro epilaci laserem je osoba se světlou kůží a tmavými chloupky. Laserové záření je vysíláno v pulzech, aby nedošlo k přehřátí a poškození pokožky. Po aplikaci je okolí vlasového folikulu zarudlé a oteklé, ale tyto příznaky během 1-3 dnů vymizí. Extrémně vzácným

vedlejší účinkem je naopak podpoření růstu ochlupení. Dalšími vedlejšími účinky jsou puchýřky, zesvětlení nebo ztmavení kůže, zjizvení či nedostavení požadovaného efektu. [2,39]



**Obrázek č. 26: Fotografie před a po odstranění ochlupení laserem**

*Zdroj: <http://www.skindsight.com/cosmetics/laserHairRemoval.htm?Imiw9cApl>*

Konkrétní příklady využití laseru BTL-5000 v praxi v jednotlivých oborech jsou uvedeny v tabulkách č. 2,3,4,5,6.

**Tabulka č. 2: Příklady využití přístroje BTL-5000 v praxi**

Laserová terapie - užití přístroje BTL - 5000 Laser v praxi								
Dermatologie	Dávka	Ozařovaná plocha	Frekvence	Sonda	Četnost	Počet aplikací	Účinek	Poznámka
	J/cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Hz		za týden	celkem		
Akné (Acne)	3	1	5	červená	2 - 3x	5 - 15x	biostimulační, protizánětlivý	možná kombinace s infračervenou sondou
Vypadávání vlasů, ochlupení (Alopecie)	3	1	5	červená	2 - 3x	8 - 15x	biostimulační	
Jizvy (Cicatrix)	3 - 6	1	5	červená	3 - 7x	10 - 40x	biostimulační, vazodilatační, stimulace tvorby kolagenu, zvýšená vaskularizace tkáně	efektivnost ovlivněna stářím jizvy a hyperpigmentací
Popáleniny (Combustio)	15	1	10	červená	3 - 7x	10 - 40x	biostimulační, antiflogistický, analgetický, stimulace tvorby kolagenu, zvýšená vaskularizace tkáně	dochází k omezení infekce tkáně, ke granulacím, urychlení epitelizace, omezení vzniku jizev a snížení tvorby keloidů
Zánět kůže (Dermatitís)	3	1	5	červená	2 - 3x	8 - 15x	biostimulační, antiedematózní, antiflogistický	výrazný antipruritózní efekt
Ekzém (Eczema)	3	1	5	červená	2 - 3x	8 - 15x	biostimulační, antiedematózní, antipruritózní	
Opar (Herpes)	1 - 2	1	5	červená/ infračervená	7x	3 - 8x	biostimulační, antipruritózní	červená - ret, sliznice infračervená - kůže
Růžovka (Rosacea)	6	1	5	červená	3x	5 - 10x	biostimulační, antiedematózní, antiflogistický	
Strie (Striae)	3	1	5	červená	2 - 3x	10 - 30x	biostimulační, zvýšená vaskularizace tkáně	efektivnost ovlivněna stářím strií

*Zdroj: Laserová terapie - BTL TERAPEUTICKÁ ENCYKLOPEDIÉ: BTL - 5000 LASER uživatelská příručka. 2007*

## 12.2. Stomatologie

V zubním lékařství se laser využívá k invazivním preparačním aktivitám, ke stimulaci a k dezinfekci (kvůli jeho antimikrobiálnímu účinku). Dostupné jsou v dnešní době 3 typy laserů:

- **Výkonové**
- **Supersvítivé**
- **Neinvazivní**

### ○ **Stimulační efekt**

U neinvazivních stimulačních laserů hraje roli vlnová délka, dávka energie, výkonová hustota, koherence laserových paprsků a jejich kombinace (v závislosti na indikaci).

Hlavní využívané efekty jsou: stimulace produkce kolagenu a metabolické aktivity gingiválních fibroblastů, urychlení epitelizace, aktivace latentního transformačního růstového faktoru  $\beta 1$  (TGF- $\beta 1$ ), zlepšení a urychlení hojení, redukce otoku a postextrakční bolesti, antibakteriální, protizánětlivý a regenerativní účinek. [2,15]

Stimulační fototerapie je aplikována při/k:

- ošetřování měkkých tkání po chirurgických zákrocích
- alveolitidě, u extrakčních ran
- chorobách ústní sliznice (recidivující afty)
- mukozitidě (komplikace léčby cytostatiky)
- urychlení kostní regenerace a regenerace poškozené nervové tkáně
- léčbě parodontopatií
- redukcí bolesti
- chorobách temporomandibulárního kloubu

### ○ **Antimikrobiální efekt**

Antimikrobiální efekt zajišťují buď lasery erbiové řady, jejichž chromoforem je voda, kterou bakterie obsahují nebo lasery diodové, se svým termickým účinkem. Dále i jiné lasery, které pracují na principu realizace jejich energie v pigmentech obsažených v bakteriích. Jde hlavně o patogenní bakterie jako *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella intermedia*, *Prevotella nigrescens*, *Prevotella melaninogenica*, *Escherichia*

*coli* a *Escherichia faecalis*, *Propionebacterium acnes*, *Helicobacter pylori*, *Fusobacterium nucleatum*.

Antimikrobiální fototerapie se aplikuje:

- v parodontologii
- v kořenovém kanálku zubu [2]

#### ○ **Fotodynamický efekt**

Fotodynamická reakce je způsobena interakcí fotosenzibilující látky (kyselina 5-aminolevulonová, tetracyklin, toluidinová modř, atd.) a světla o dané vlnové délce v přítomnosti kyslíku. Produkty reakce jsou cytotoxické látky, např. superoxidy, peroxid vodíku, hydroxylové radikály nebo singletový kyslík. Tento mechanismus je zásadní pro poškození mikrobiálních buněk.

Hlavními zdroji ve fotodynamické terapii jsou lasery s červeným světlem o vlnové délce mezi 630 a 700 nm, př. helium-neonové, galium-aluminium-arsenidové diodové nebo argonové lasery.

Využívá se v/k:

- stomatologické onkologii, parodontologii, endodoncii
- léčbě různých bakteriálních, virových a mykotických infekcí [2]

**Tabulka č. 3: Příklady využití přístroje BTL-5000 v praxi**

Laserová terapie - užití přístroje BTL - 5000 Laser v praxi								
Stomatologie	Dávka	Ozařovaná plocha	Frekvence	Sonda	Četnost	Počet aplikací	Účinek	Poznámka
	J/cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Hz		za týden	celkem		
Poranění nervu (Analgie)	3	1	10	červená	7x	1 - 8x	analgetický, biostimulační	po nevhodné aplikaci anestetik za vzniku hematomu z poranění cévy, následného edému a bolesti
Aft (Aphtha)	1 - 2	1	5	červená	3 - 5x	3 - 6x	biostimulační, antiflogistický	
Zubní kaz (Caries dentis)	3	1	5	červená	1x	1x	biostimulační	před preparací a zhotovením výplně
Zánět dásní (Gingivitis)	3	1	5	červená	1x	2 - 4x	biostimulační, antiflogistický, analgetický	aplikace před čištěním zubů pro snížení citlivosti dásní a následně i po čištění
Paradentóza (Parodontitis)	6 - 9	1	5	červená	3xdenně	5 - 15x	biostimulační, antiflogistický	vznik jako následek nekontrolovatelné, šířící se gingivity

Zdroj: *Laserová terapie - BTL TERAPEUTICKÁ ENCYKLOPEDIÉ: BTL - 5000 LASER uživatelská příručka. 2007*

### 12.3. Chirurgie, ORL

Podle indikace dělíme lasery používané v chirurgii na ablativní (CO<sub>2</sub>, Er: YAG) a neablativní (barvivový, KTP, diodový, ...). Jedná se o vysokovýkonné invazivní lasery, které našly využití při operacích, které jsou díky tomu bezdotykové. Řezy jsou přesné, ostře ohraničené bez poškozeného okolí a nekrvácí, díky koagulaci způsobené teplem laseru. Zároveň je rána dezinfikována. Volba typu laseru závisí na stanovení správné vlnové délky, která má žádoucí účinek na chromofor, tzn. na ošetřovaný cíl. Rozdíl mezi ablativním a neablativním laserem je v tom, že neablativní laser sice tkáň poškozují, ale jen nepatrně a tím podpoří proces obnovy. [2,40]

Dalšími obory, ve kterých se využívá fotochemický účinek laseru, jsou:

- oční chirurgie (krátkozrakost, dalekozrakost)
- onkologie (ablace zhoubných nádorů)
- neurochirurgie (vaporizace, koagulace)
- plicní (resekce nádorů) a cévní (angioplastiky) chirurgie
- ortopedie (ablace kostí)
- gastroenterologie (endoskopické operace)

Nežádoucí účinky, které se mohou vyskytnout, jsou: neefektivnost, bolestivost zákroku, otok, zarudnutí, krvácení, tvorba krust, poruchy pigmentace a jizvy. [2,7]

**Tabulka č. 4: Příklady využití přístroje BTL-5000 v praxi**

Laserová terapie - užití přístroje BTL - 5000 Laser v praxi								
ORL	Dávka	Ozařovaná plocha	Frekvence	Sonda	Četnost za týden	Počet aplikací	Účinek	Poznámka
	J/cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Hz					
Akutní či chronický zánět středního ucha (Otitis media acuta, chronica)	2 - 4	1	5	infračervená	3 - 7x	3- 6x	antiflogistický, analgetický	VÝHRADNĚ po paracentéze či samovolné ruptuře!
Zánět nosohltanu (Pharyngitis)	3	1	5	červená	3x	4 - 8x	antiflogistický, analgetický, biostimulační	zmírnění bolesti při polykání již po druhé aplikaci
Zánět mandlí (Tonsillitis)	15	1	5	červená/ infračervená	3 - 7x	4 - 10x	antiflogistický, biostimulační	
Odstranění krčních mandlí (Tonsillectomia)	3	1	10	červená	7x	3 - 5x	inhibiční, analgetický	co nejdříve po zákroku
Šelest v uších (Tinnitus)	135	1	5	infračervená	2 - 3x	6 - 12x	biostimulační	98% vyzářené energie je pohlceno skalní kostí

*Zdroj: Laserová terapie - BTL TERAPEUTICKÁ ENCYKLOPEDIÉ: BTL - 5000 LASER uživatelská příručka. 2007*

## 12.4. Rehabilitace, léčba pohybového aparátu

Ve fyzikální terapii našla vysokovýkonná laserová terapie uplatnění, v porovnání s jinou léčbou, hlavně pro menší počet aplikací, kratší dobu léčení a lepší terapeutické výsledky. Využívají se hlavně diodové nebo Nd: YAG zdroje o vlnové délce mezi 830-1064 nm. U laseroterapie pohybového aparátu záleží na hustotě záření, výkonu zdroje, počtu aplikací a časovém odstupu mezi nimi. Navíc každý člověk reaguje na léčbu jinak, proto musí být o dávce záření rozhodováno individuálně.

Slouží především k ústupu bolesti, urychlení hojení po zranění nebo operaci, uvolnění svalových spasmů, urychlení vstřebání hematomu a zamezení vzniku edému. Ústup bolesti umožní další manuální terapii a tím zvýší efektivitu léčby.

Laseroterapie v rehabilitaci je aplikována bodově, skenerem nebo laserovou sprchou při:

- vertebrogenní bolesti (vertebrogenní algický syndrom, Morbus Bechtěrev,..)
- artróze
- onemocnění měkkých tkání
- achillodynii
- zmrzlém rameni
- chondropatii pately
- syndromu karpálního tunelu [2]

**Tabulka č. 5: Příklady využití přístroje BTL-5000 v praxi**

Laserová terapie - užití přístroje BTL - 5000 Laser v praxi								
Rehabilitace	Dávka	Ozařovaná plocha	Frekvence	Sonda	Četnost	Počet aplikací	Účinek	Poznámka
	J/cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Hz		za týden	celkem		
Zánětlivé onemocnění kloubů (Arthritis)	9	1	10	infračervená	2 - 3x	10 - 15x	analgetický, antiedematózní, antiflogistický	u kloubů ve větší hloubce nutno zvýšit dávku
Dna (Arthritis uratica)	30	1	10	infračervená	7x	5 - 10x	analgetický, antiedematózní	podpůrná terapie medikamentózní léčby a striktního dodržování dietních opatření
Artróza (Arthrosis)	10 - 20	1	10	infračervená	2 - 3x	min. 10x	analgetický, antiedematózní, myorelaxační	
Podvrtnutí kloubu (Distorsio)	18	1	10	infračervená	7x	6 - 10x	analgetický, antiedematózní, biostimulační	rychlý ústup bolesti

Zdroj: Laserová terapie - BTL TERAPEUTICKÁ ENCYKLOPEDIÉ: BTL - 5000 LASER uživatelská příručka. 2007

## 12.5. Gynekologie

V porodnictví je využívána neinvazivní forma laseroterapie. Jde především o urychlení hojení ran po zákrocích, hojení jizev, biostimulaci tkání a odstranění strií. [2,41] Protože se v gynekologii působí především na sliznice, jsou voleny lasery s delší vlnovou délkou. Sliznice jsou totiž k jakémukoliv působení mnohem citlivější, než je kůže. [2] Používají se např. CO<sub>2</sub> lasery, Er: YAG a Nd: YAG lasery, pro větší průnik do tkáně. [42]

Aplikace laseroterapie při:

- epiziotomii (operační zásah jehož správnou léčbou se předchází komplikacím při dalším porodu)
- kožních striích (již během těhotenství- v posledním trimestru nebo v šestinedělí)
- ragádách prsních bradavek (vhodné brzy po porodu, z důvodu umožnění pokračování kojení)
- mastitis puerperalis (po aplikaci laseru bolest, otok a zarudnutí zaníceného prsu ustupuje do 24 hodin)
- bolestivé menstruaci
- herpetické infekci
- zánětu děložního čípku, močových cest a úniku moči [2,43]

**Tabulka č. 6: Příklady využití přístroje BTL-5000 v praxi**

Laserová terapie - užití přístroje BTL - 5000 Laser v praxi								
Gynekologie	Dávka	Ozařovaná plocha	Frekvence	Sonda	Četnost	Počet aplikací	Účinek	Poznámka
	J/cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	Hz		za týden	celkem		
Bolestivá menstruace (Algoemorrhoea)	6	1	10	červená/ infračervená	2 - 3x	10 - 15x	analgetický, myorelaxační	týden před menstruací, červená - intravaginálně, infračervená - oboustranně na SI skloubení
Akutní či chronický zánět děložního čípku (Cervicitis acuta, chronica)	3 - 6	1	10	červená	obden	4 - 10x	analgetický, antiflogistický	
Genitální opar (Herpes genitalis)	1 - 2	1	5	červená	7x	4 - 10x	biostimulační, antiflogistický, antiedematózní, antipruritózní	
Únik moči (Incontinentia urinae)	3	1	10	červená	7x	6 - 12x	analgetický, antiedematózní, antiflogistický	bezprostředně po operaci, přímé, plošné ozáření
Zánět močového měchýře (Urocystis - irritabilis)	3	1	1	červená	7x	6 - 12x	inhibiční	přední poševní stěna + bodově vyhloubení kosti křížové

Zdroj: Laserová terapie - BTL TERAPEUTICKÁ ENCYKLOPEDIÉ: BTL - 5000 LASER uživatelská příručka. 2007

### 13. Ochrana zdraví při práci s lasery

Legislativa ochrany zdraví je v České Republice dána zákonem č. 258/2000 Sb. [44] a prováděcími předpisy k tomuto zákonu nařízením vlády č. 1/2008 Sb., ve znění nařízení vlády č. 106/2010 Sb. [45]

Nařízení vlády vychází ze Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/25/ES. [46]

Z hlediska nepříznivých účinků na zdraví jsou laserová zařízení rozdělena do tříd podle ČSN EN 60825-1:2007. [47]

Laserová zařízení

- třída 1 – zařízení jsou bezpečná i během dlouhodobého používání a sledování zrakem i pomocí optických pomůcek; do výkonu 0,4  $\mu\text{W}$
- třída 1M - zařízení jsou bezpečná i během dlouhodobého používání a sledování zrakem, k poškození zraku může dojít pozorováním svazku lupou nebo dalekohledem
- třída 2 – během provozu není umožněn přístup lidské obsluhy, po chvilkovém ozáření může dojít k oslnění a přetrvávajícím zrakovým vjemům; s výkonem do 1 mW
- třída 3a – pouze tam, kde je přímý pohled do svazku nepravděpodobný. Může způsobit oslnění, zábleskovou slepotu, přetrvávající zrakové vjemy; s výkonem do 5 mW
- třída 3b – nebezpečná při pohledu do svazku i při nahodilém a krátkodobém ozáření
- třída 4 – při pouhém pohledu, odrazu ohrožují zrak a při ozáření mohou poškodit i kůži [2,48]

Bezpečnost práce by měla být zajištěna pravidelným proškolením obsluhy, ochrannými pomůckami a také vhodným označením místností s lasery a samotných laserů. Dále by k laserovým zařízením neměly mít přístup nepovolané osoby, a tudíž by každý přístroj měl být chráněn kódem nebo alespoň místnost, v níž se zařízení nachází, by měla být uzamykatelná.

Osoby obsluhující laserová zařízení podstupují pravidelné preventivní prohlídky u všeobecného a očního lékaře každé 4 roky (u osob nad 50 let každé 2 roky). [2]



## 14. Závěr

Cílem této rešeršní práce bylo v první řadě vysvětlit, na jakém principu laser pracuje, popsat základní typy laserů a jejich využití. Dále je v práci popsán účinek laserového záření na organismus a podrobněji popsány jsou i jednotlivé účinky. Největší význam je kladen na využití laserů v kožním lékařství a v estetické medicíně, kde jsou jednotlivá onemocnění popsána a doplněna o obrázkovou přílohu. Na konci práce jsou zmíněny i další lékařské obory, ve kterých je laser také často využíván.

Tato bakalářská práce obsahuje pouze krátký výčet z velkého množství využití, které laseroterapie v současné době nabízí a jelikož je toto odvětví poměrně mladé, lze do budoucna očekávat jeho další rozvoj a širší uplatnění.

## 15. Použité zkratky

Zkratka	Význam
µm	Mikrometr
ADP	Adenosindifosfát
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid hlinitý
Ar	Argon
ATP	Adenosintrifosfát
cd	Kandela
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
Cr	Chrom
dB	Decibel
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
Er	Erbium
eV	Elektronvolt
FEL	Free electron laser
GaAs	Galium-arsenicum
He-Cd	Helium-kadmium
He-Ne	Helium-neon
HILT	High intensity laser therapy, vysokointenzivní laserová terapie
Ho	Holmium
HPLT	High power laser therapy, vysokovýkonná laserová terapie
Hsp 70	Heat shock protein 70, protein teplotního šoku
Hz	Hertz
IL	Interleukin
InGaAl	Indium-gallium-aluminium
J	Joul
K	Kelvin
km	Kilometr
Kr-F	Krypton-fluor
KTP	Potassium-titanyl-phosphate crystal
Laser	Ligh amplification by stimulated emission of radiation
LD	Laser diode, laserová dioda
LED	Light emitting diode, dioda emitující světlo
lm	Lumen
m	Metr
Maser	Microwave amplification by stimulated emission of radiation
MLS	Multiwave locked systém
mW	Milíwatt
NADH	Nikotinamid adenin dinukleotid
Nd	Neodym
nm	Nanometr
ns	Nanosekunda
PDGF	Platelet derived growth factor, destičkový růstový faktor
Pr	Praseodym
sr	Steradián
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
TGF-β	Transforming growth factor, transformující růstový faktor
Ti	Titan
TIMP	Tissue inhibitor of metalloproteinases, tkáňový inhibitor metaloroteináz
UV	Ultrafialové záření
UVA	Dlouhovlnné ultrafialové záření
W	Watt
YAG	Yttrito-hlinitý granát

## 16. Seznam použité literatury

1. KUSALA, Jaroslav. *Lasery kolem nás: Vzdělávací program SVĚT ENERGIE* [online]. In: . 2004 [cit. 2016-08-19]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/laser.htm>
2. NAVRÁTIL, Leoš, Jozef ROSINA a et al. *Nové pohledy na neinvazivní laser*. 1. Praha: Grada Publishing, a.s., 2015. ISBN 978-80-247-1651-0.
3. Laser. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Laser#Historie>
4. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Maser* [online]. c2015 [citováno 31. 07. 2016]. Dostupný z WWW : <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Maser&oldid=12194792>>
5. PROSSER, CSC., Prof. RNDr. Václav. *Experimentální metody biofyziky*. Praha: Československé akademie věd, 1989. ISBN 80-200-0059-3.
6. Světlo. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Btlo>
7. NAVRÁTIL, Leoš, Jozef ROSINA a et al. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2005. ISBN 978-80-247-1152-2.
8. ROSINA, Jozef, Jana VRÁNOVÁ, Hana KOLÁŘOVÁ a Jiří STANEK. *Biofyzika: Pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2013. ISBN 978-80-247-4237-3.
9. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Planckův vyzařovací zákon* [online]. c2015 [citováno 31. 07. 2016]. Dostupný z WWW: <[https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Planck%C5%AFv\\_vyza%C5%99ovac%C3%AD\\_z%C3%A1kon&oldid=12281146](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Planck%C5%AFv_vyza%C5%99ovac%C3%AD_z%C3%A1kon&oldid=12281146)>
10. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Nd:YAG laser* [online]. c2015 [citováno 25. 07. 2016]. Dostupný z WWW: <[https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Nd:YAG\\_laser&oldid=12323223](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Nd:YAG_laser&oldid=12323223)>

11. Typy laserů. *WikiSkripta* [online]. 2008- [cit. 2016-07-31]. ISSN 18046517. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Typy\\_laserů&oldid=340710](http://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Typy_laserů&oldid=340710)
12. HRAZDIRA, Ivo, Vojtěch MORNSTEIN a Jiřina ŠKORPÍKOVÁ. *Základy biofyziky a zdravotnické techniky*. Brno: Neptun, 2006. ISBN 8086850013.
13. O'SHEA, Patrick G.; FREUND, Henry P. *Free-electron lasers: status and applications*. Science, 2001, 292.5523: p. 1853-1858.
14. KUBASOVA, T., HORVÁTH, M., KOCSIS, K., FENY, M. Effect of visible light on some cellular and immune parameters. *Immunol. Cell Biol.* Jun., 1995, 73(3), p. 239-244.
15. CRISAN, Bogdan, Olga SORITAU, Mihaela BACIUT, Radu CAMPPIAN, Liana CRISAN a Grigore BACIUT. Influence of three laser wavelengths on human fibroblasts cell culture. *Lasers in Medical Science* [online]. 2013, **28**(2), 457-463 [cit. 2016-07-25]. DOI: 10.1007/s10103-012-1084-5. ISSN 02688921. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10103-012-1084-5>
16. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Mitochondrie* [online]. c2016 [citováno 5. 04. 2016]. Dostupný z WWW: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Mitochondrie&oldid=13237112>
17. ALBERTS, Bruce, Dennis BRAY, Alexander JOHNSON, Julian LEWIS a et al. *Základy buněčné biologie*. 2. Ústí nad Labem: Espero Publishing, 2005. ISBN 80-902906-2-0.
18. BENEŠOVÁ, Marika, Hana HAMPLOVÁ, Kateřina KNOTOVÁ, Pavlína LEFNEROVÁ, Ivana SÁČKOVÁ a Hana SATRAPOVÁ. *Odmaturuj z biologie*. 1. Brno: DIDAKTIS spol. s. r. o., 2003. ISBN 978-80-86285-67-2.
19. Melzack R, Wall PD. *Pain mechanisms: A new theory*. Science 1965; p. 150:971-5.
20. JÍLEK, Petr. *Základy imunologie*. 2. Praha: ANYWAY, s. r. o., 2008. ISBN 978-80-254-2422-3.
21. RULCOVÁ, Jarmila. *Akné: příčiny, projevy a terapeutické možnosti : rady lékaře*. Praha: Triton, 2005. ISBN 8072546619.

22. GOLDBERG, DJ., RUSSELL, BA. Combination blue (415 nm) and red (633 nm) LED phototherapy in the treatment of mild to severe acne vulgaris. *J. Cosmet. Laser Ther.*, 2006, 8(2), p. 71-75.
23. Acne (Acne Vulgaris). *Skinsight: for every body, everywhere* [online]. [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: <http://www.skindsight.com/adult/acneVulgaris.htm>
24. *Acne Treatment, Laser* [online]. Logical Images, Inc. editorial staff: Ramsey Markus, MD and Blanca Ochoa, MD, 2009 [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: <http://www.skindsight.com/cosmetics/laserAcneTreatment.htm?Imiw9cApl>
25. Rosacea. *MedlinePlus: Trusted Health Informations for You* [online]. Rockville Pike, Bethesda [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: <https://medlineplus.gov/rosacea.html>
26. Atopic dermatitis. *Medline Plus: Trusted Health Informations for You* [online]. [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: <https://medlineplus.gov/ency/article/000853.htm>
27. Dermatitis seborrhoica. *WikiSkripta* [online]. 2008- [cit. 2016-07-26]. ISSN 18046517. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Dermatitis\\_seborrhoica&oldid=308225](http://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Dermatitis_seborrhoica&oldid=308225)
28. An Expert's Advice: What To Do If You Have Psoriasis. *NIH Medline Plus* [online]. 2013 [cit. 2016-07-27]. Dostupné z: <https://medlineplus.gov/magazine/issues/fall13/articles/fall13pg27.html>
29. Vitiligo. *Medline Plus: Trusted Health Information for You* [online]. [cit. 2016-07-27]. Dostupné z: <https://medlineplus.gov/vitiligo.html>
30. Vitiligo: Diagnosis and treatment. *American Academy of Dermatology: Excellence in Dermatology* [online]. [cit. 2016-07-27]. Dostupné z: <https://www.aad.org/public/diseases/color-problems/vitiligo>
31. Lavender. *National Center for Complementary and Intergrative Health* [online]. [cit. 2016-07-27]. Dostupné z: <https://nccih.nih.gov/health/lavender/ata glance.htm>
32. Hair loss: Hair loss: Diagnosis and treatment. *American Academy of Dermatology* [online]. [cit. 2016-07-27]. Dostupné z: <https://www.aad.org/public/diseases/hair-and-scalp-problems/hair-loss>

33. Laser/Light Therapy for Scars. *American Society for Dermatologic Surgery* [online]. [cit. 2016-07-27]. Dostupné z: <http://www.asds.net/Laser-Light-Therapy-for-Scars/>
34. MUDR. ADAMCOVÁ, Hana a MEDICAL LASER CENTRE. Využití laserů v dermatologii. In: *Plastická-chirurgie.info* [online]. 2007 [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: <http://www.plasticka-chirurgie.info/novinky/vyuziti-laseru>
35. Skin Renewal, Laser. *Skinsight: for every body, everywhere* [online]. [cit. 2016-07-27]. Dostupné z: <http://www.skinsight.com/cosmetics/laserSkinRenewal.htm?Imiw9cApl>
36. BASSO, Fernanda G., Camila F. OLIVEIRA, Cristina KURACHI, Josimeri HEBLING a Carlos A. de Souza COSTA. Biostimulatory effect of low-level laser therapy on keratinocytes in vitro. *Lasers in Medical Science* [online]. 2013, **28**(2), p. 367-374 [cit. 2016-07-25]. DOI: 10.1007/s10103-012-1057-8. ISSN 02688921. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10103-012-1057-8>
37. *Tattoo Removal, Laser* [online]. Logical Images, Inc. editorial staff: Ramsey Markus, MD and Blanca Ochoa, MD, 2008 [cit. 2016-07-26]. Dostupné z: <http://www.skinsight.com/cosmetics/laserTattooRemoval.htm?Imiw9cApl>
38. BACHMANN, Alexander a Robin RUSZAT. The KTP-(greenlight-) laser – principles and experiences. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies* [online]. 2009, **16**(1), p. 5-10 [cit. 2016-07-27]. DOI: 10.1080/13645700601157885. ISSN 13645706. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13645700601157885>
39. Hair Removal, Laser. *Skinsight: for every body, everywhere* [online]. 2008 [cit. 2016-07-29]. Dostupné z: <http://www.skinsight.com/cosmetics/laserHairRemoval.htm?Imiw9cApl>
40. Fotona Surgical Lasers. *Fotona: choose perfection* [online]. [cit. 2016-07-31]. Dostupné z: <http://www.fotona.com/en/surgery/>
41. Využití laserů v medicíně. *WikiSkripta* [online]. 2008- [cit. 2016-07-29]. ISSN 18046517. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Využití\\_laserů\\_v\\_medicíně&oldid=341588](http://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Využití_laserů_v_medicíně&oldid=341588)

42. Fotona Lasers in Gynecology. *Fotona: choose perfection* [online]. [cit. 2016-07-31]. Dostupné z: <http://www.fotona.com/en/gynecology/>
43. *Laserová terapie - BTL TERAPEUTICKÁ ENCYKLOPEDIÉ: BTL - 5000 LASER uživatelská příručka*. 2007.
44. Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů
45. Nařízení vlády č. 1/2008 Sb., o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, ve znění nařízení vlády č. 106/2010 Sb.
46. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/25/ES o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli (optickým zářením z umělých zdrojů)
47. ČSN EN 60825-1:2007 Bezpečnost laserových zařízení- část 1: Klasifikace zařízení a požadavky
48. VRBOVÁ, Miroslava (ed.). *Lasery a moderní optika: oborová encyklopedie*. Praha: Prometheus, 1994. ISBN 8085849569.