8. Lézerek orvosi alkalmazása

Az orvosi alkalmazások a lézerfelhasználásokat tekintve a második helyen állnak. A következõ táblázat mutatja az 2000-ben orvosi célra eladott lézertípusok tájékoztató adatait (forrás: Laser Focus World, January 2001).

	Orvosi lézerfelhasználás	**m$**	**db**	**1 db ára $**
1	Lámpa gerjesztésû szilárdtest lézer	322	8800	36591
2	Excimer lézer	210	1020	205882
3	CO_2 lézer (zárt rendszerû)	66	2635	25047
4	LD gerjesztésû szilárdtest lézer	12	1133	10591
6	Festéklézer	10	300	33333
5	Ionlézer, > 1 W teljesítményû	5,3	400	13250
7	Ionlézer, < 1 W teljesítményû	3	200	15000

A dollárérték alapján a hagyományos gerjesztésû szilárdtest lézerek állnak az elsõ helyen, õket követik a “hideg vágás”-ra alkalmas excimer lézerek, amelyekbõl egyre növekvõ számban adnak el orvosi célokra. Az eladott darabszámot tekintve a zárt rendszerû CO_2 lézerek felhasználása is igen számottevõ, és az ionlézerek (elsõsorban Ar-ion lézerrõl van szó) összesített száma is duplája a festéklézer eladásoknak.

Röviden áttekintjük az eddigiekben nem tárgyalt (az ipari megmunkálás fejezetben sem), de az orvosi gyakorlatban fontos lézerek tulajdonságait.

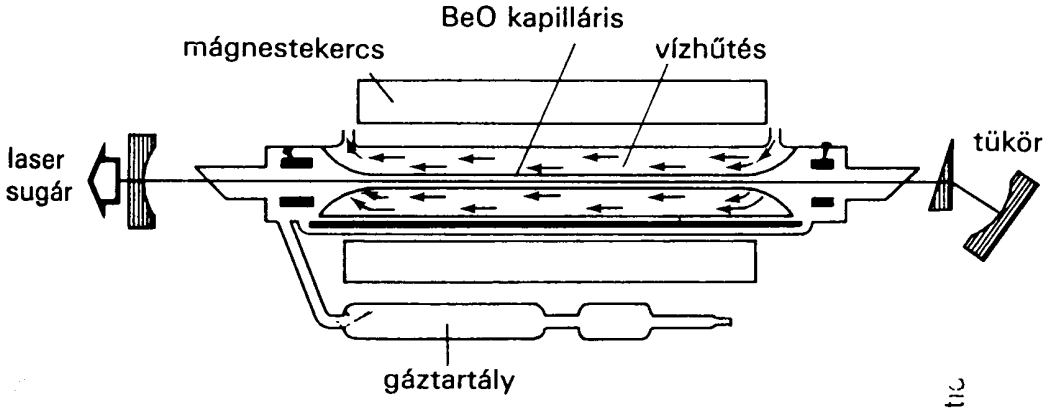
8.1 Néhány orvosi alkalmazásra használt, eddig nem tárgyalt lézer

1) Gázlézerek

Ar - ion lézer

A nemesgázion-lézerek közé tartozik, melyek a színkép látható és közeli ultraibolya tartományában sugároznak. Az argonlézer a He-Ne lézernél kb. százszor-ezerszer nagyobb teljesítményt sugároz. Felépítése (8.1. ábra) is jóval bonyolultabb annál. Fényerõsítõ közege kis nyomású argongáz. A gerjesztéshez 30-50 A szükséges (a lézer felsõ szintje az alapállapottól > 35 eV - ra van, az Ar atom ionizációs szintje pedig ~ 16 eV). A nagy áramterhelés miatt a lézercsõ kapillárisa grafitból vagy berillium-oxid kerámiából készül, amelyek megfelelõ hõvezetésû és az ionbombázással szemben jó ellenálló képességgel is rendelkezõ anyagok. Erõs vízhûtésre, tengelyirányú mágneses térre és a rezonátoron belül egy prizmára is szükség van, az utóbbi nélkül egyszerre több vonalon mûködik. Ez utóbbival lehet a

kívánt mûködési hullámhosszat kiválasztani, mivel a fényerõsítés egyidejûleg több színképvonalon is fellép. A vonalak az 540-450 nm zöld-kék tartományba esnek.



8.1 ábra W-os teljesítményû Ar-ion lézer tipikus felépítése

A legerõsebb az 515 nm zöld és a 488 nm kékeszöld átmenet, ahol több W teljesítmény is elérhetõ. A fényerõsítés keletkezésében döntõ szerepük van az erõsáramú kisülés elektronjainak, melyek ionizálják az argonatomok egy részét, majd különbözõ gerjesztett ionállapotokba hozzák.

Szokásos folytonos teljesítménye 1 - 20 W. Kisebb teljesítményekhez (< W) léghûtés is elegendõ. Hatásfoka kicsi (< 0,001), de a kisülési árammal folyamatosan növekszik. Egyik fontos felhasználása, hogy fényével festéklézert lehet gerjeszteni, s íly módon a lézermûködés hullámhosszát folyamatosan változtatni lehet. Az argonlézerrel pumpált festéklézerrel a lézerek szinte minden elõnyõs tulajdonságával rendelkezik (kiváló koherencia, nagy teljesítmény, hangolhatóság, ultrarövid impulzusok, stb.).

Az argonion-lézer orvosi felhasználása igen széles körû, mind a diagnosztikában, mind a terápiában alkalmazásra kerül. Egyéb felhasználásai: tudományos célokra (pl. fény - anyag kölcsönhatási folyamatok vizsgálata), lézernyomtató, show mûsorok.

Kr - ionlézer

Legerõsebb vonala 647,1 nm - es piros, de a 454 - 799 nm - es tartományban több vonalon is mûködik. 2,5 W teljesítményû "fehér" koherens fény kibocsátására alkalmas.

Fémgõzlézerek, pl. He-Cd

A lézerátmenet a fémgõzion megfelelõ nívói között történik. A fém a fémtartályból melegítéssel kerül a kisülésbe, s így a kisülés kikapcsolásakor lecsapódik valahol a rendszer hideg pontján. Így a fémtartályban folyamatosan csökken a Cd mennyisége, kb. 1 g fém fogy 1000 óra alatt. Legismertebb vonalai a 325 és 441,6 nm - es UV és kék vonal. Tipikus folyamatos teljesítménye 50 - 100 mW.

Fõleg azokon a területeken használják, ahol UV illetve kék közepes folytonos teljesítményre van szükség, mint pl. lézernyomtatóknál, holográfiában, orvosi gyakorlatban diagnosztikára.

Cu és Au gõzlézerek

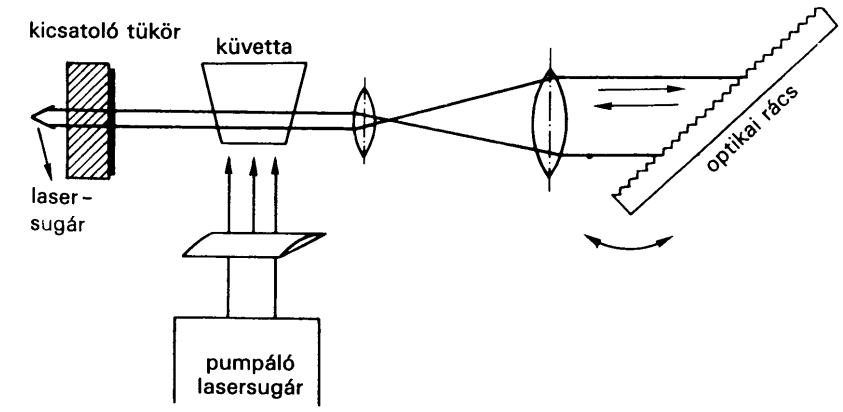
A fémgõzön kívül mindkét gázkisülés 25 - 50 torr Ne gázt is tartalmaz.

A réz esetén a fémet 1500°C - ra kell felmelegíteni, hogy a kisülésben megfelelõ arányban legyenek Cu - atomok. A Cu - lézerek tipikus mûködési adatai: ~ 40 W átlagteljesítmény, 50 ns impulzushossz 20 kHz ismétlõdési frekvenciával. Az 510,5 nm - es zöld hullámhosszán 1 % a hatásfoka. Így a zöld hullámhosszon a legnagyobb hatásfokkal mûködõ lézer. A zöldön kívül ismert az 578,2 nm - es sárga hullámhossza is. Felhasználása fõleg tudományos célra történik, de van ipari alkalmazása is (pl. nagysebességû fényképezés, ellenállás értékének beállítása).

Az aranylézer esetén a fémet 1650°C - ra kell felmelegíteni. Az Au - lézer ismert hullámhosszai: 628 és 312 nm - es vonalak. Egyre elterjedtebben használják daganatok fotodinamikus kezelésére.

2) Festéklézerek

A mûködési hullámhossz megváltoztatása elõször a 60-as évek végén sikerült a festéklézerek alkalmazásával (ma már erre a színcentrumos lézerek és az alexandrit lézer is alkalmas). A festéklézerek aktív anyaga szerves festékanyagok híg oldata. Az oldószer lehet víz, etanol stb., festékanyagként pedig eddig mintegy 200 különféle festéktípust dolgoztak ki (xantének, kumarinok, akridinek stb.). A mûködési tartomány felöleli a közeli ultraibolya, a látható és a közeli infravörös tartományt. A festékmolekulák rendszerint bonyolultak, részben planáris, részben gyûrûs felépítésûek. Erõsen abszorbeálnak és jól fluoreszkálnak. A festéklézer-berendezés felépítése általában egyszerû (8.2 ábra). A hangolást rendszerint az egyik tükröt helyettesítõ optikai rács forgatása biztosítja. A hangolási tartomány egy festékanyagra mintegy 50 nm.



8.2 ábra Festéklézer tipikus felépítése

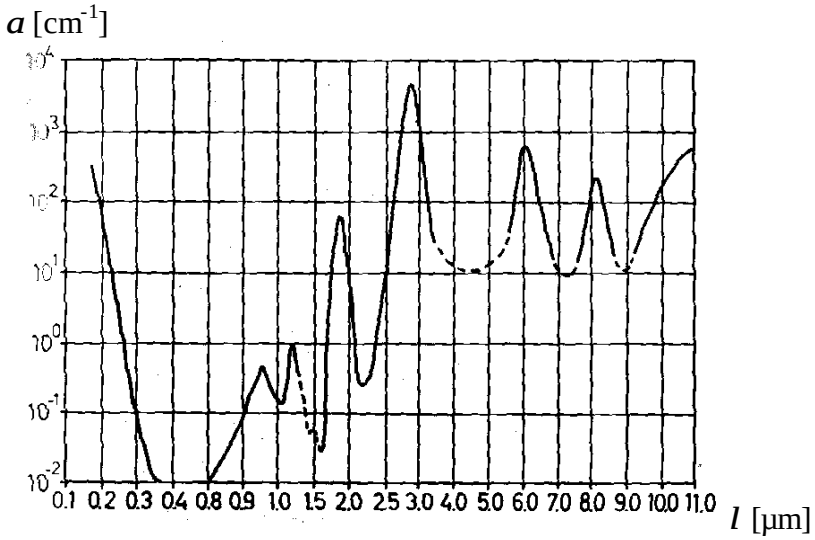
Pumpálásra vagy gyors villanólámpa, vagy más impulzuslézer rövid fényimpulzusait használjak, leggyakrabban N_2-lézert. Argon-ion lézerrel folyamatos üzemû lézermûködés is megvalósítható, ehhez azonban a festékoldatot folyamatosan áramoltatni kell.

A festéklézerek egyik legfontosabb orvosi alkalmazási területe a kõzúzás, melyet villanó lámpával pumpált festéklézerrel jó eredménnyel lehet végezni. A mikroprocesszoros vezérlés kizárja a perforáció veszélyét, ha ugyanis a roncsoló lézerimpulzus lágy részt ér el, a készülék önmûködõen leáll. A lézerhatásnak az a lényege, hogy bizonyos teljesítménysûrûség felett a kõ felületén dielektromos átütés lép fel, kicsiny plazmabuborékok keletkeznek. A plazmaképzõdést fényfelvillanás jelzi, amelyet erõs, fémes csengésû hang kisér. A plazmabuborék oszcillációja mechanikus lökéshullámot kelt, amely szétroncsolja a követ.

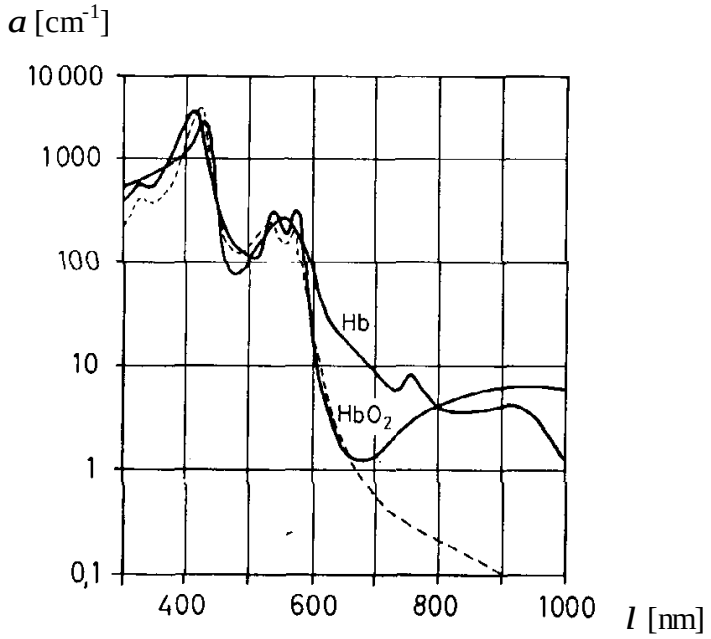
8.2 Fény-anyag kölcsönhatása - orvosi alkalmazások

Hasonlóan az ipari felhasználásokhoz, az orvosi felhasználások is a fény és az élõ szövet kölcsönhatásán alapulnak, mely kölcsönhatás alapvetõen két tényezõtõl függ: az alkalmazott lézerfény tulajdonságaitól (hullámhossz, teljesítmény, megvilágítás ideje és módja, azaz impulzus, vagy folyamatos) és a szövet fajtájától (víztartalom, összetétel, szóródási és felszíni tulajdonságok).

Mivel az élõ szövetek víztartalma a 70 %-ot meghaladja, elsõdleges fontosságú a víz fényabszorpciós tulajdonsága. A különbözõ szövetek egyéb fontos anyagokat (pl. fehérjéket, mint hemoglobin, bilirubin, melanin, keratin, protein, stb.) tartalmaznak. A 8.3 ábrán a víz a 8.4 ábrán pedig a vér abszorpciós spektrumát láthatjuk a hullámhossz függvényében. Látható, hogy a víz UV-ban (excimer lézerek hullámhosszán) és infrában (az Er-YAG 2,9 µm és a CO_2 lézerek hullámhosszán) nyel el jelentõsen, míg a vér elnyelése 600 nm felett lecsökken.



8.3 ábra A víz lineáris abszorpciós együtthatójának hullámhosszfüggése



8.4 ábra A vér két jellemzõ alkotórészében a lineáris abszorpciós együttható hullámhosszfüggése

A lézerfény testszövettel való kölcsönhatásait a következõképpen osztályozhatjuk (az egyes folyamatok teljesítmény- és megvilágítás-igényét az 8.5 ábra mutatja):

Hõhatások

Fotokoaguláció

A szövet olyan hõmérsékletre hevül, amely irreverzibilis kémiai változásokat okoz, helyi égést és hegesedést eredményez.

Fotovaporizáció

A szövet olyan hõmennyiséget abszorbeál a hõ terjedéséhez képest jóval rövidebb idõ alatt, ami a sejteken belüli, és a sejtek közötti folyadékokat elpárologtatja, magával ragadva a szilárd részeket. Az eredmény olyan szövetmetszés, amelynél a vérerek kauterizációja miatt viszonylag csekély a vérzés.

Biostimuláció

A szövetben csak reverzibilis kémiai folyamatok játszódnak le.

Ionizáló hatás

Zúzás (fotodiszrupció)

A szövet molekulái a lézernyaláb hatására ionizálódnak, melynek következtében akusztikus lökõhullám keletkezik, ami szétzúzza a szövetet.

Fotokémiai hatások

Fotoabláció

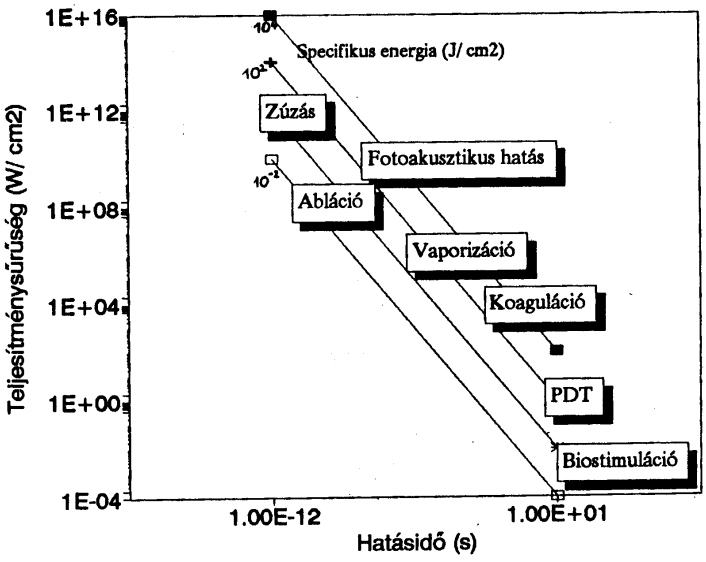
A szövet rövid impulzusidejû ultraibolya sugárzás hatására elpárolog.

Fotodinamikus terápia

Az intravénásan bevitt fotoszenzitív anyag (hematoporfirin derivatív) szelektíven koncentrálódik a metabolikusan aktív daganatszövetben. A megfelelõ hullámhosszúságú lézerfény hatására a szelektíven feldúsult szövetben cytotoxikus anyag szabadul fel, amely elpusztítja a daganatszövetet.

A lézerfény által okozott szöveti hatás nagymértékben függ a szövet felmelegedésétõl, ezért a szöveti károsodás elkerüléséhez rövid idejû és nagyenergiájú fotonokból álló lézerfényt kell használni (UV fényû fényfprrások elõnyben: pl. excimer lézerek, hasonlóan az ipari megmunkálásoknál említett “hideg” vágáshoz). A szöveti kölcsönhatásoka következük:

45°-ig	lokális hevítés, reverzibilis a folyamat, nincs szövetkárosodás
60°-nál	enzimális változások, ödéma képzõdés
100°-nál	elpárolog a szövetek víztartalma, koaguláció, nekrózis
150°-nál	megindul a szenesedés (karbonizáció)
300°-nál	a teljes szövet elpárolog (evaporizáció)



8.5 ábra Lézeres gyógyászati eljárások teljesítmény- és megvilágítási idõ igénye

A következõ táblázatban összefoglaljuk a legfontosabb orvosi lézeralkalmazásokat.

Lézer-típus	l [nm]	Folyt. CW imp. P	Szöveti hatás	Orvosi terület	Tipikus alkalmazás
Exci-mer	193 308	P nagyon rövid	Fotoabláció igen kis termikus károsítással	Szemészet szívsebészet	Szaruhártya sebé-szet, érplasztika
Ar-ion	488 514	CW P	Koaguláció sérült terület vaporizációja	Bõrgyógy. gasztroent. nõgyógyászat fül, orr, gége szemészet	Vérzéscsillapítás tetoválás eltávolítása retina visszavarrás szivárványhártya kimetszés, glaukóma
Festék	400-1000	CW P	Érzékenyítõ triggerelése Szelektív abszorpció Plazmakeltés	Onkológia Bõrgyógyászat Urológia	Fotodinamikus terápia Vérzéscsillapítás kõtörés
Nd: YAG	1060	CW P	Térfogati melegítés Plazmakeltés	gasztroent. általános seb. urológia szemészet	Vérpangás, daga-natok kezelése epehólyag eltávolítás, kõtörés daganat roncsolás
CO_2	10,6 µm	CW vagy hosszú P	Precíz vágás	sebészet	Szöveteltávolítás lézeres sebészet

Ajánlott irodalom:

1. Optical fibers in medicine
   Katzir, A. (SPIE Optical Engineering Press 1990.)

2. Laserek az orvosi gyakorlatban
   Gáspár Lajos, Kásler Miklós (Springer)