

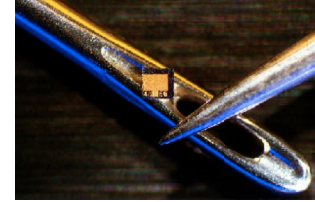
LÉZER

KELLERMAYER MIKLÓS

LÉZEREK MINDENÜTT

“LIGHT Amplification by Stimulated Emission of Radiation”

Fényerősítést megvalósító **lumineszcens** fényforrás.

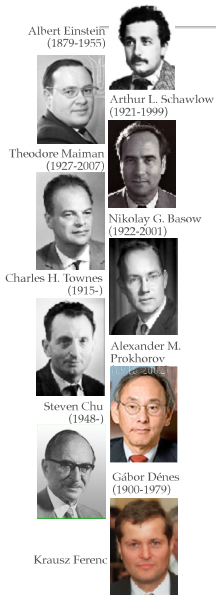


5 mW diódalézer
néhány mm



Terawattos NOVA lézer - Lawrence Livermore Laboratories
Futballpálya méret

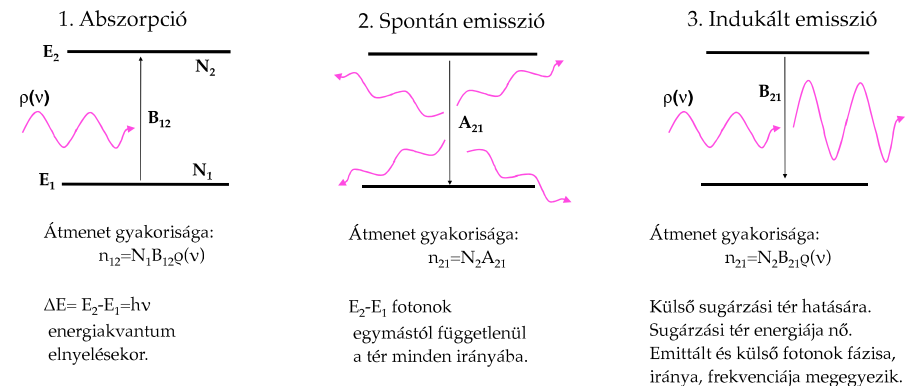
LÉZERTÖRTÉNET DIÓHÉJBAN



- **1917** - *Albert Einstein*: indukált emisszió elméleti predikciója.
- **1946** - *G. Meyer-Schwickerather*: első szemműtét fénnel.
- **1950** - *Arthur Schawlow és Charles Townes*: az emittált fotonok a látható tartományba eshetnek.
- **1954** - *N.G. Basov, A.M. Prochorov, és C. Townes*: ammónia mézer
- **1960** - *Theodore Maiman*: első lézer (rubin lézer)
- **1964** - *Basov, Prochorov, Townes (Nobel-díj)*: kvantum elektronika
- **1970** - *Arthur Ashkin*: lézercsipesz
- **1971** - *Gábor Dénes (Nobel-díj)*: holográfia
- **1997** - *S. Chu, W.D. Phillips és C. Cohen-Tanoudji (Nobel-díj)*: lézeres atomhűtés.
- **2013. október 8** - *NIF (National Ignition Facility, USA)*: magfúzió beindítása 192 lézernyalábbal, pozitív energiamérleg.
- **2017** - *ELI (Extreme Light Infrastructure)* indulása, Szeged. Attoszekundumos (10^{-18} s) fényimpulzusok előállítása.
- **2018** - Fizikai Nobel-díj: *Arthur Ashkin* (lézercsipesz), *Gérard Mourou* és *Donna Strickland* (ultrarövid lézerimpulzusok)

A LÉZER ALAPJAI I.

INDUKÁLT (STIMULÁLT) EMISSZIÓ



Magyarázat: kétállapotú atomi vagy molekuláris rendszer

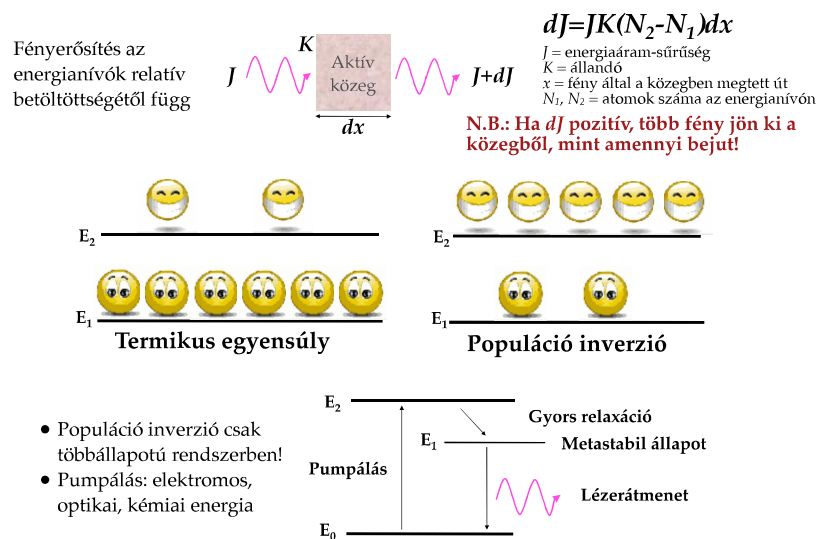
E_1, E_2 : energianívók, $E_2 > E_1$

$\rho(\nu)$: sugárzási tér spektrális energiasűrűsége

N_1, N_2 : adott energianívón levő atomok, molekulák száma

B_{12}, A_{21}, B_{21} : energianívók közötti átmeneti valószínűségek (**Einstein**-féle együtthatók), $B_{12} = B_{21}$

A LÉZER ALAPJAI II. POPULÁCIÓ INVERZIÓ



A LÉZERFÉNY TULAJDONSÁGAI I.

1. Kis divergencia

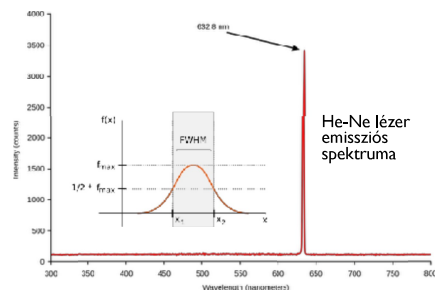
Párhuzamos nyaláb

2. Nagy teljesítmény

Folytonos üzemmódban több tíz, akár száz W (pl. CO₂ lézer)
 Q-csatolású üzemmódban a pillanatnyi teljesítmény hatalmas (GW)
 Kis divergencia miatt óriási térbeli teljesítménysűrűség

3. Kis spektrális sávszélesség

“Monokromaticitás”
 Nagy spektrális energiasűrűség

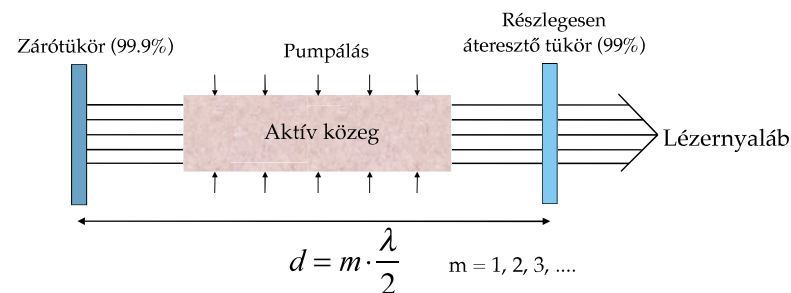


4. Polarizáltság

5. Rendkívül rövid impulzusok lehetősége

ps, fs

A LÉZER ALAPJAI III. OPTIKAI REZONANCIA



Rezonátor:

- két párhuzamos sík (vagy homorú) tükör
- a kimenő fénytjeljesítmény egy részét visszacsatolja a közegbe
- pozitív visszacsatolás -> öngerjesztés -> rezonancia

• Optikai zár a rezonátorban: Q-csatolás, impulzus üzemmód

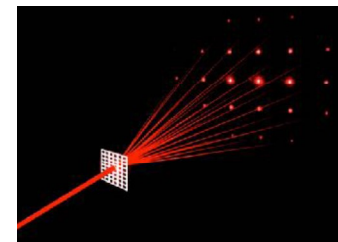
A LÉZERFÉNY TULAJDONSÁGAI II.

6. Koherencia

Fázisazonosság, interferenciaképesség

Időbeli koherencia (különböző időpontokban emittált fotonok fázisazonossága)

Térbeli koherencia (nyalábkeresztmetszet menti fázisazonosság)



Alkalmazás: holográfia, optikai koherencia tomográfia

LÉZERTÍPUSOK

Fényerősítő közeg alapján:

1. Szilárdtest lézerek

Kristályokba v. üveganyagokba bevitt fémszennyeződés; Rubin, Nd-YAG, Ti-zafir
Vörös-infravörös spektrális tartomány; Folytonos, Q-kapcsolású üzemmód, nagy teljesítmény

2. Gázlézerek

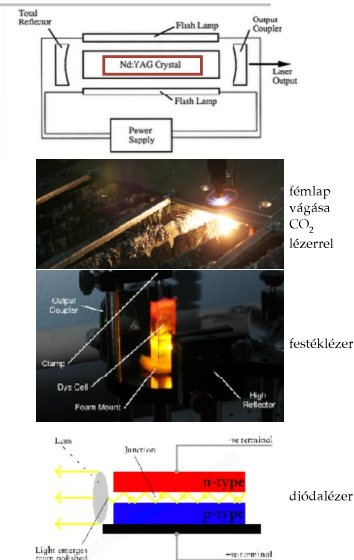
Legismertebb: He-Ne lézer (10 He/Ne). Kis energia, Széleskörű használat
CO₂ lézer: CO₂-N₂-He keverék; $\lambda \sim 10 \mu\text{m}$; Óriási teljesítmény (100 W)

3. Festéklézerek

Szerves festékek (pl. rodamin, kumarin) híg oldata; Pumpálásra más lézer használt
Nagy teljesítmény (Q-kapcsolt módban); Hangolható

4. Félvezető (dióda) lézerek

Összefekvő p- és n-típusú, szennyezett félvezetők határán.
Rezonátor tükrökre nincs szükség (belső visszaverődés)
Vörös, IR spektrális tartomány. Nagy kontinuos üzemmódú teljesítmény (akár 100W)
Nyalábkarakterisztika nem túl jó. Kis méret miatt széleskörű alkalmazás.



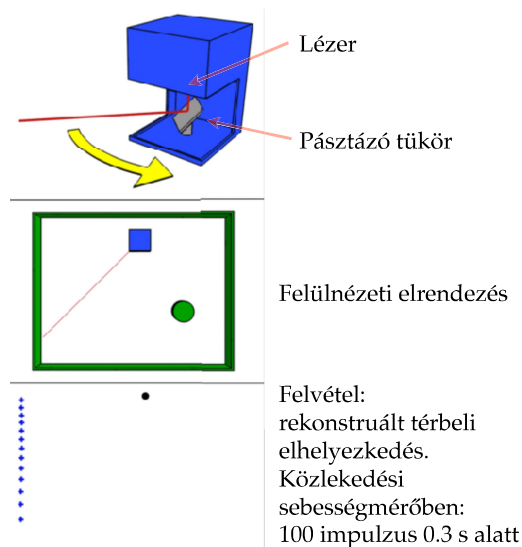
A röntgentől az infravörösig rendelkezésre állnak lézervonalak.

LÉZERALKALMAZÁS SZEMPONTJAI

- Irányíthatóság
- Monokromaticitás
- Koherencia
- Rövid impulzusok lehetősége
- Teljesítmény:
 - 5 mW – CD-ROM meghajtó
 - 5–10 mW – DVD lejátszó vagy DVD-ROM meghajtó
 - 100 mW – Nagysebességű CD-RW író
 - 250 mW – DVD-R író
 - 1–20 W – szilárdtest-lézer mikromegmunkálásra
 - 30–100 W – sebészeti CO₂ lézer
 - 100–3000 W – ipari CO₂ lézer (lézervágó)
 - 1 kW – 1 cm diódalézer rúd

SEBESSÉGMÉRÉS LÉZERREL

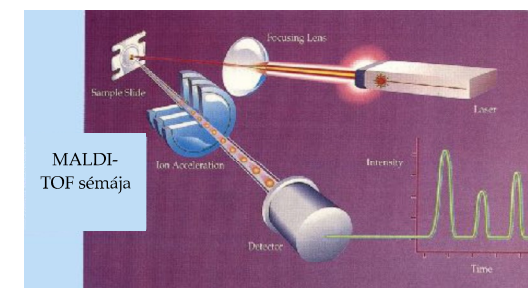
LIDAR: “LIGHT DETECTION AND RANGING”



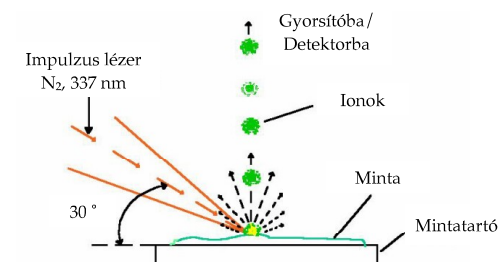
Irányíthatóság

MALDI-TOF:

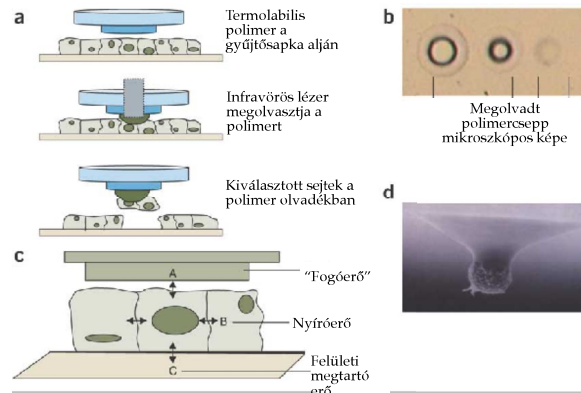
MATRIX-ASSISTED LASER DESORPTION/IONIZATION TIME OF FLIGHT MASS SPECTROMETRY



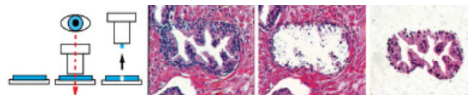
Teljesítménysűrűség



“LASER CAPTURE MICRODISSECTION”



Teljesítménysűrűség, irányíthatóság

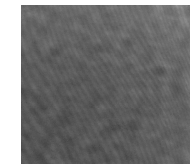
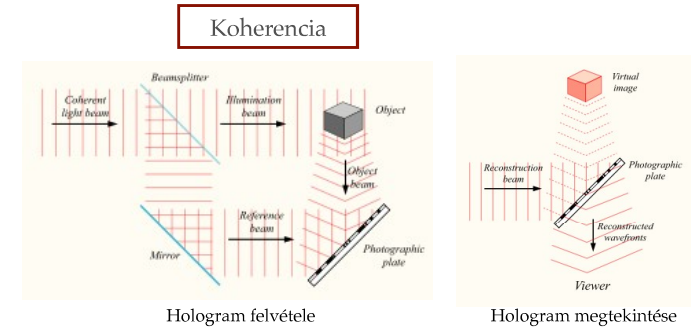


Jelentőség: lokális analitika lehetősége (kémia, genetika)

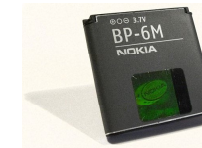
HOLOGRÁFIA



Gábor Dénes (1900-1979)



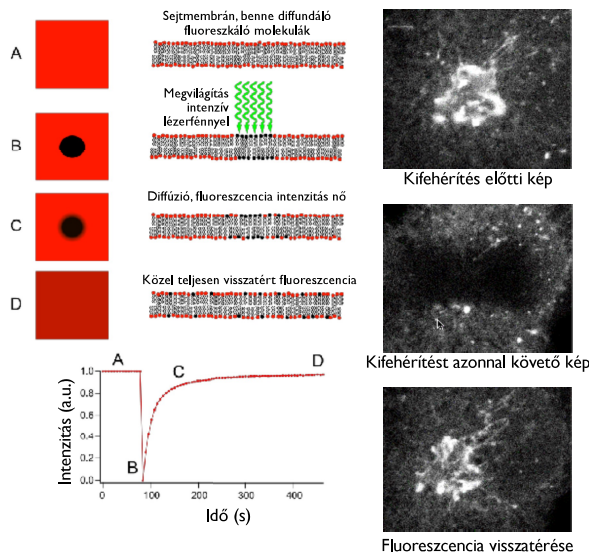
Hologram fotolemez felülete



Hologramok



Fluorescence Recovery After Photobleaching (FRAP)



Teljesítménysűrűség, irányíthatóság

N.B.: "Bleaching": fehérités
"Photobleaching": fotokifehérítés

Diffúziós állandó meghatározható a fluoreszcencia intenzitás visszatérésének időbeli lefutásából:

$$D = \frac{w^2}{4t_D}$$

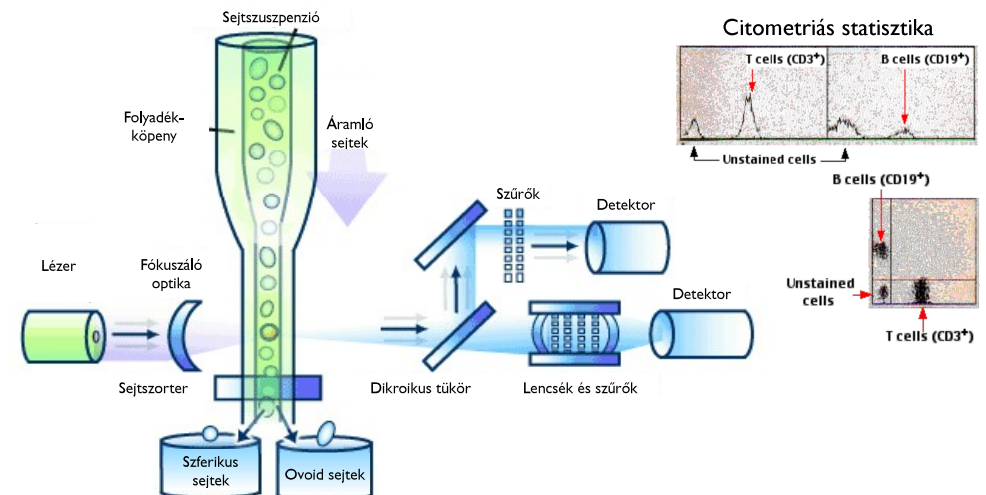
D = diffúziós állandó
w = kifehérített terület átmérője
t_D = időállandó

Fluorescence activated cell sorter (FACS)

Fluoreszcencia aktivált sejtválogatás; Áramlási citometria (flow cytometry)

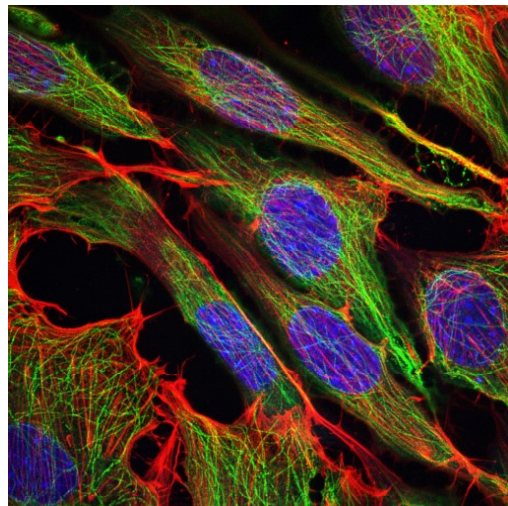
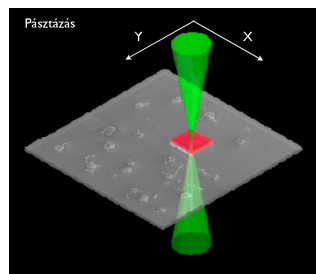
- Fluoreszcensen fajlagosan megjelölt sejtuszorítást sejtenként analizálunk
- Sok paramétert mérünk (fluoreszcencia intenzitás különböző hullámhosszokon, szórás)
- Statisztikai analízist végzünk
- Szükség esetén a sejteket szétválogathatjuk a paraméterek alapján

Monokromaticitás

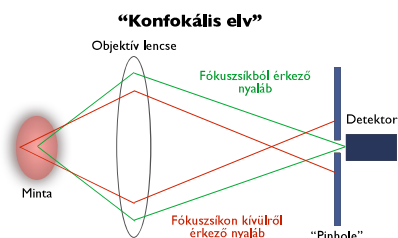


Lézer pásztázó konfokális mikroszkópia

Monokromaticitás, irányíthatóság



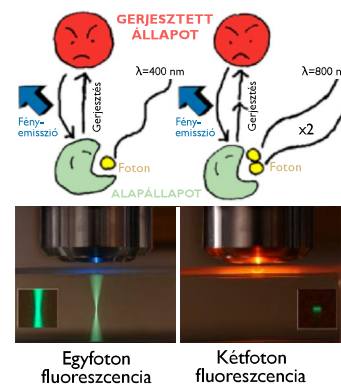
Zöld: mikrotubulusok; Vörös: aktin; Kék: sejtmag



Multifoton fluoreszcencia mikroszkópia

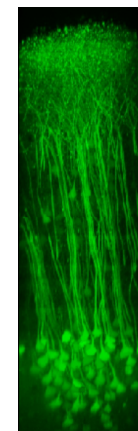
Monokromaticitás, irányíthatóság, rövid impulzusok

- Két (vagy több) foton energiája összeadódik a gerjesztéskor
- Gerjesztés (következésképp emisszió) csak a fókuszpontban (limitált fotokárosítás)
- Gerjesztés nagy (közele IR) hullámhosszú, rövid (fs) fényimpulzusokkal
- Nagy hullámhossz miatt mély optikai behatolás (akár 2 mm)

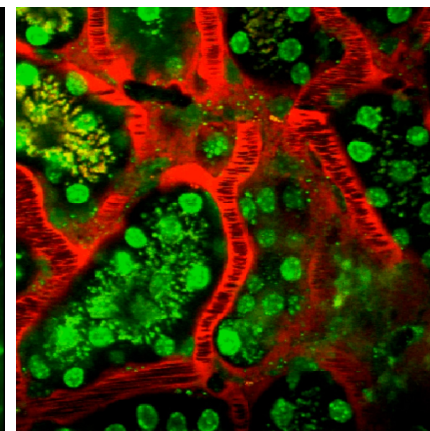


Egyfoton fluoreszcencia

Kétfoton fluoreszcencia



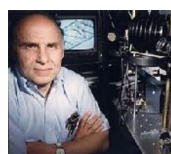
Agykérgi piramis sejtek



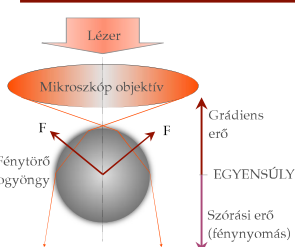
Zöld: proximális vesetubulusok; Vörös: albumin (plazma)

LÉZERCSIPESZ

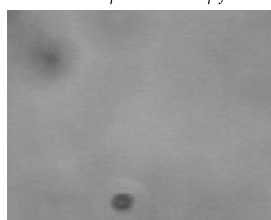
Teljesítménysűrűség, irányíthatóság



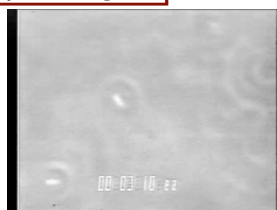
Arthur Ashkin (1970)



A lézercsipeszben a fotonok és a fénytörő részecske között impulzuscsere lép fel



3 μm átmérőjű latex (polistírol) mikrogöngyök optikai csipeszben



Baktérium sejt manipulálása lézercsipesszel



Aktin filamentum



dsDNS

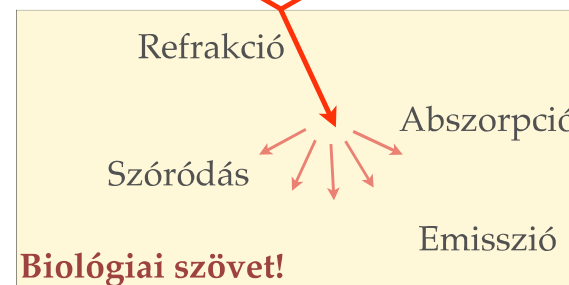
Molekula manipulálása lézercsipesszel

Molekuláris erőmérés lehetősége!

A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI

Beeső lézernyaláb

Reflexió



Biológiai szövet!

Megfontolandó lézertulajdonságok:

- Irányíthatóság (kis divergencia, sebészeti alkalmazások)
- Teljesítménysűrűség (sebészeti alkalmazások)
- Monokromaticitás (szöveti abszorbancia)
- Koherencia (interferencia, képalkotás)

A biológiai szövet tulajdonságai alapvetőek a hatás kialakításában: abszorbancia, transzmittivitás, fényindukált reakciók

A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI

Sebészeti szakmák: "lézerszike", koaguláció, vérzés nélküli operáció. Daganateltávolítás. CO₂ és Nd:YAG lézer. Holmium lézer lithotripsia (urológia).

Bőrgyógyászat: rendkívül kiterjedt alkalmazás - anyajegyek, tetoválások, felületi érzettség, szőrzet, daganat eltávolítása, stb.

Fogászat: szuvas részek preferáltan abszorbeálóknak.

Photodynamiás tumorterápia: fotoszenzitív, tumor által preferáltan felvett kémiai anyagok aktiválása lézerrel.

Szemészet: Retinaleválás, szemfenék fotokoagulációja, glaucoma, fotorefraktív keratektomia (PRK).

BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK: LÉZERES SZŐRTELENÍTÉS

Phototricholysis, photoepiláció

Alapja: szelektív photothermolysis
chromophorok általi szelektív abszorpció

Alkalmazott chromophorok:

1. Szén (exogén, széntartalmú kenőcsök)
2. Hemoglobin (endogén)
3. Melanin (endogén)



Kezelés előtt

Kezelés után

BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK: TETOVÁLÁS ELTÁVOLÍTÁS

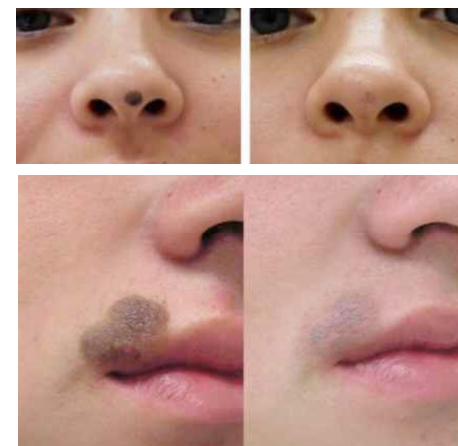
Q-kapcsolású Nd:YAG lézer (1064 nm)



Kezelés előtt

Kezelés után

BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK: ANYAJEGY ELTÁVOLÍTÁS



Kezelés előtt

Kezelés után

BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK: FELÜLETES EREK, VÉNÁK ELTÁVOLÍTÁSA



Kezelés előtt

Kezelés után



Kezelés előtt

2 évvel a kezelés után

BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK: BŐR FELÜLETI MÓDOSÍTÁSA (“RESURFACING”)

1993. Adrian
CO₂, Erbium:YAG lézer



Ráncalanítás



Napkárosítás



Rhinophyma (faggyúmirigy hipertófia, fibrózis)



Szisztémás epidermális naevusok

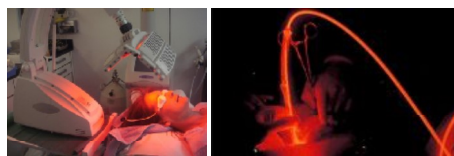
ONKOLÓGIAI ALKALMAZÁSOK FOTODINÁMIÁS TERÁPIA

Photodynamikus terápia (PDT):

Roswell Park Cancer Institute 1970-es évek.

Háromkomponensű tumorterápiás módszer:

1. Fotoszenzitizáló ágens, 2. Fény, 3. Oxigén.

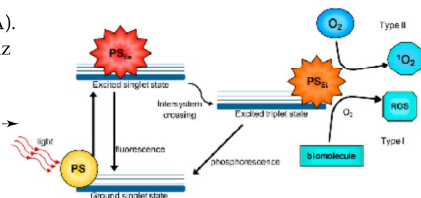


Fény szervezetbe juttatása: felületi megvilágítás, optikai kábel

Lépések:

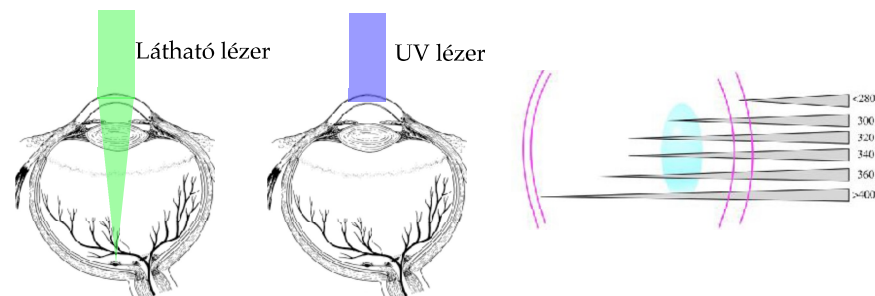


1. Fotoszenzitizáló prekursor beadása (aminolevulinsav, ALA).
2. Néhány órás inkubációs idő koncentrációja a tumorban. Az ALA protoporphyrin IX-é alakul.
3. A célterület megvilágítása diódlézerrel (néhány perc).
4. Protoporphyrin abszorbeál → gerjesztett szingulett állapot → triplett állapot → energiatranszfer triplett oxigénnel → gerjesztett, reaktív oxigén → szöveti reakció. Néhány napon belül a terület elhal, leválik.



SZEMÉSZETI ALKALMAZÁSOK: ALAPELVEK

Az optikai közegek transzmittivitása hullámhossz-függő



SZEMÉSZETI ALKALMAZÁSOK: LASIK

“Laser-assisted In Situ Keratomileusis”

A refraktív lézer-szemsebészet egy fajtája

Történet:

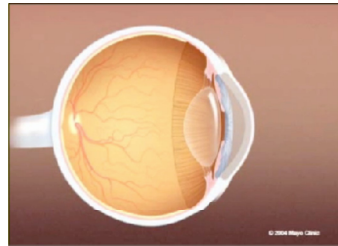
Jose Barraquer, 1970: microkeratome építése, mellyel a corneába lézerrel hasadékokat vágott és lemezeket alakított ki (keratomileusis).

Lucio Buratto (Olasz) és Ioannis Pallikaris (Görög), 1990: keratomileusis és photorefractív keratectomia kombinálása.

Thomas and Tobias Neuhann (Német), 1991: automatizált microkeratome.

Lépések:

1. Kontaktlencse eltávolítása (7-10 nappal a beavatkozás előtt)
2. Lézeres letapogatás (kis teljesítmény): a cornea topográfiájának megrajzolása
3. Cornea felületéről egy lemez felhajtása (fs lézerrel)
4. Stroma anyagából eltávolítás (néhány 10 mikrométer vastagságban). Excimer lézer (193 nm).



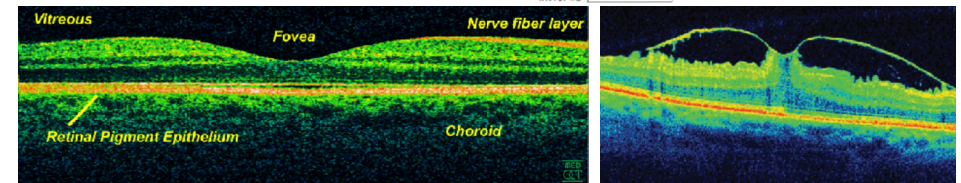
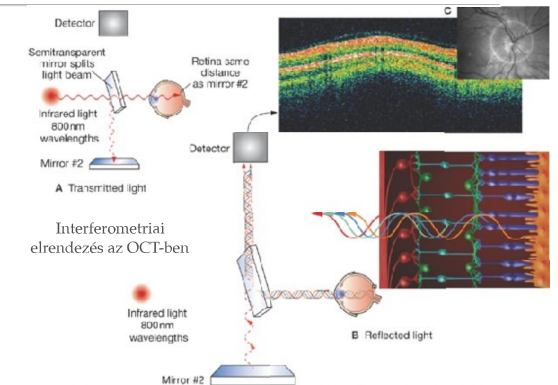
SZEMÉSZETI ALKALMAZÁSOK: OCT

Optikai koherencia tomográfia (Optical Coherence Tomography):

- noninvazív
- kontrasztanyagmentes
- majdnem mikroszkópikus felbontás

Működési elv:

- A minta mélyebb részeiben visszaverődő, illetve szóródó sugarak interferometria segítségével szétválaszthatók.
- A reflektáló rétegek helyzete meghatározható.
- A minta szerkezete (1-2 mm mélységben) feltárható.



Normál retina

Macula degeneráció