

LÉZER

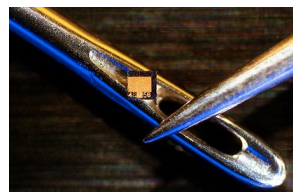
KELLERMAYER MIKLÓS



LÉZEREK MINDENÜTT

“LIGHT Amplification by StImulated Emission of Radiation”

Fényerősítést megvalósító **lumineszcens** fényforrás.



5 mW diódlézer
néhány mm



Terawattos NOVA lézer - Lawrence Livermore Laboratories
Futballpálya méret

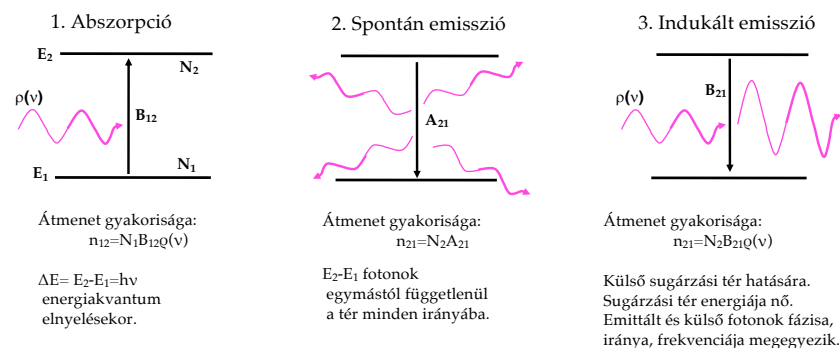
LÉZERTÖRTÉNET DIÓHÉJBAN



- **1917** - *Albert Einstein*: indukált emisszió elméleti predikciója.
- **1946** - *G. Meyer-Schwickerather*: első szemműtét fénnnyel.
- **1950** - *Arthur Schawlow és Charles Townes*: az emittált fotonok a látható tartományba eshetnek.
- **1954** - *N.G. Basow, A.M. Prochorov, és C. Townes*: ammónia mézer
- **1960** - *Theodore Maiman*: első lézer (rubin lézer)
- **1964** - *Basow, Prochorow, 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 előállítás.
- **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, $E_2 > E_1$

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

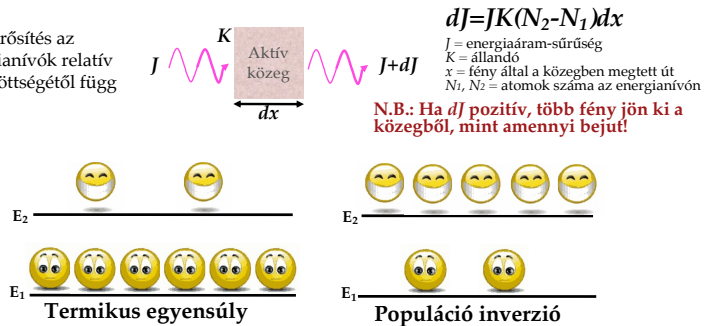
N_1, N_2 : adott energianívón levő atomok, molekulák száma

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

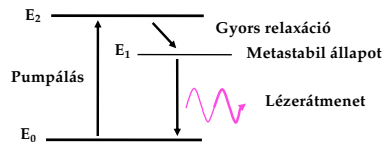
A LÉZER ALAPJAI II.

POPULÁCIÓ INVERZIÓ

Fényerősítés az energianívók relatív betöltöttségétől függ

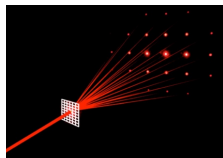
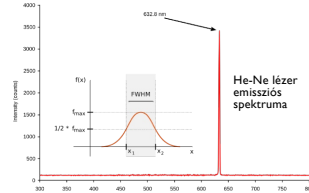


- Populáció inverzió csak többállapotú rendszerben!
- Pumpálás: elektromos, optikai, kémiai energia



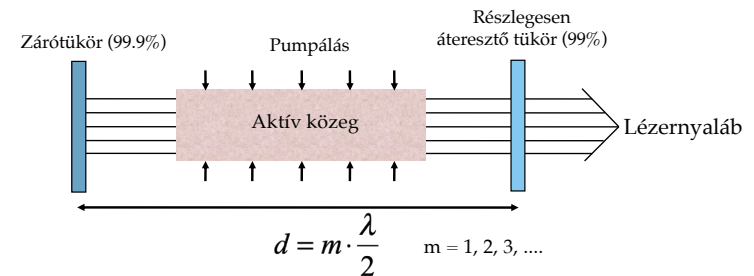
A LÉZERFÉNY TULAJDONSÁGAI

- Kis divergencia**
Párhuzamos nyaláb
- 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
- Kis spektrális sávszélesség**
"Monokromaticitás"
Nagy spektrális energiasűrűség
- Polarizáltság**
- Rendkívül rövid impulzusok lehetősége**
ps, fs
- Koherencia**
Fázisazonosság, interferenciaképesség
Időbeli koherencia (különböző időpontokban emittált fotonok fázisazonossága)
Térbeli koherencia (nyalábkeresztmetszet menti fázisazonosság)
Alkalmazás: holográfia, optikai koherencia tomográfia



A LÉZER ALAPJAI III.

OPTIKAI REZONANCIA



Rezonátor:

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

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

LÉZERTÍPUSOK

Fényerősítő közeg alapján:

1. Szilárdtest lézerek

Kristályokba v. üveganyagokba bevitt fémszennyeződés; Rubin, Nd-YAG, Ti-zafír
 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; λ ~ 10 μm; Óriási teljesítmény (100 W)

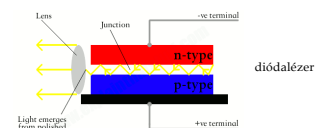
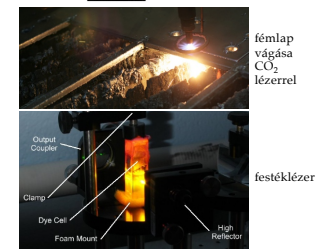
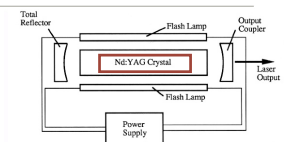
3. Festéklézerek

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.



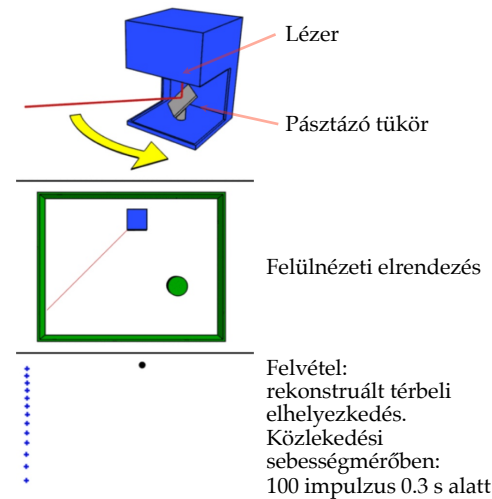
LÉZERALKALMAZÁS

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”

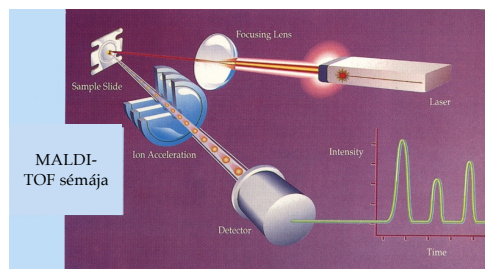


Irányíthatóság

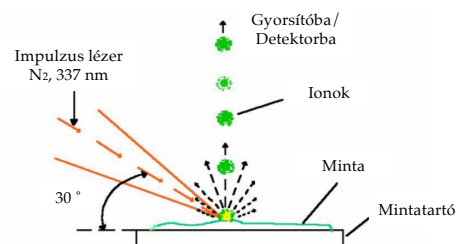


MALDI-TOF:

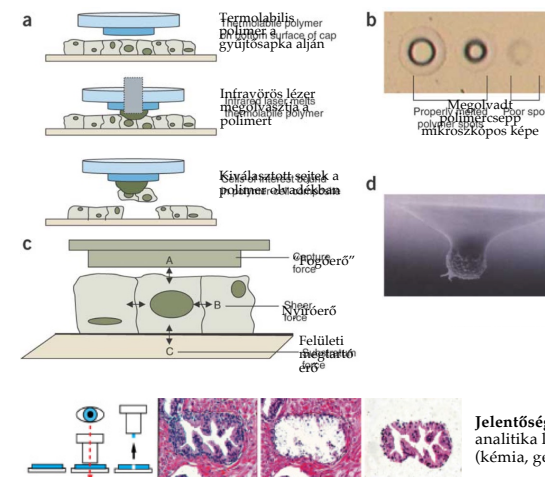
MATRIX-ASSISTED LASER DESORPTION/IONIZATION TIME OF FLIGHT MASS SPECTROMETRY



Teljesítménysűrűség



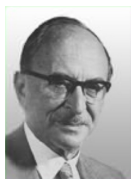
“LASER CAPTURE MICRODISSECTION”



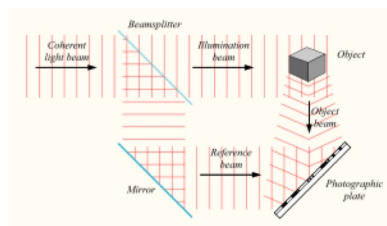
Teljesítménysűrűség,
irányíthatóság

HOLOGRÁFIA

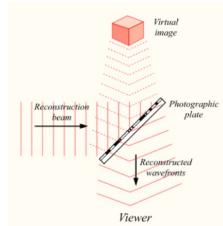
Koherencia



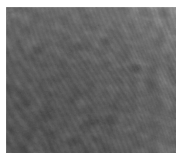
Gábor Dénes
(1900-1979)



Hologram felvétele



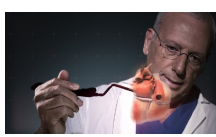
Hologram megtekintése



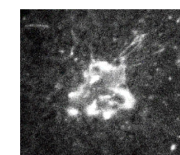
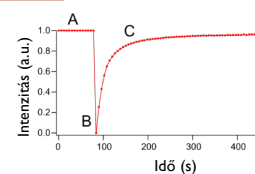
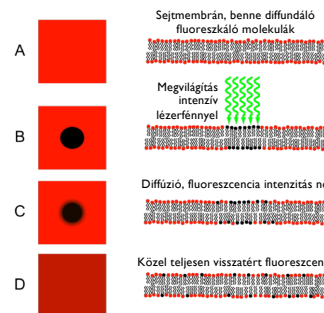
Hologram fotolemez felülete



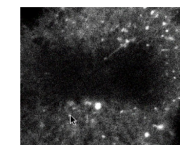
Hologramok



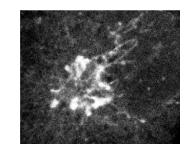
Fluorescence Recovery After Photobleaching (FRAP)



Kifehérítés előtti kép



Kifehérítést azonnal követő kép



Fluoreszcencia visszatérése

Teljesítménysűrűség,
irányíthatóság

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

Diffúziós állandó
meghatározható a fluoreszcencia
intenzitás visszatérésének időbeli
lefutásából:

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

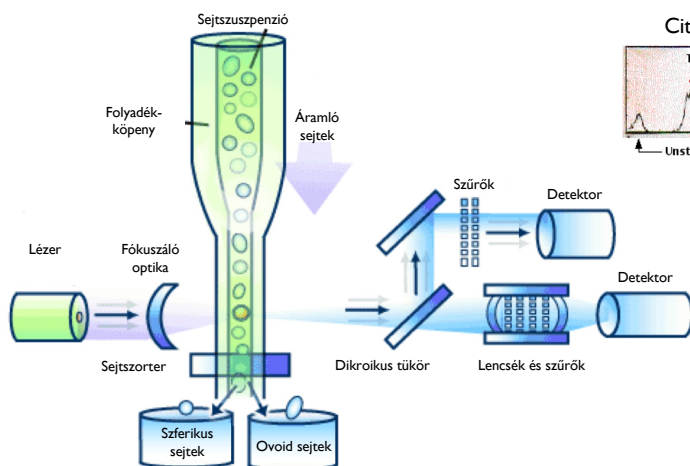
D = diffúziós állandó
 w = kifehérített terület átmérője
 t_D = időállandó

Fluorescence activated cell sorter (FACS)

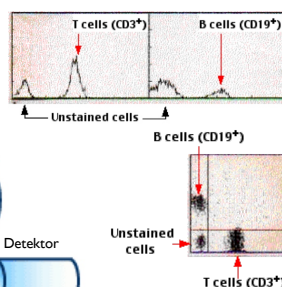
Fluoreszcencia aktivált sejtválogatás; Áramlási citometria (flow cytometry)

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

Monokromaticitás

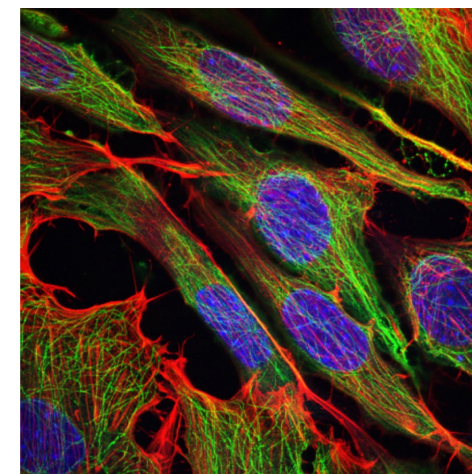
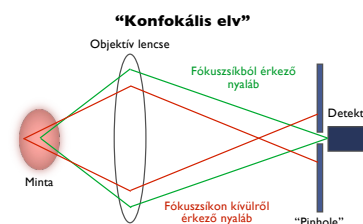
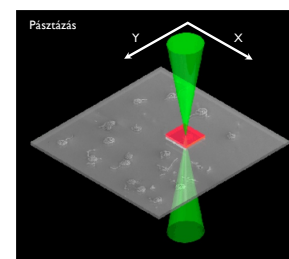


Citometriás statisztika



Lézer pásztázó konfokális mikroszkópia

Monokromaticitás, irányíthatóság

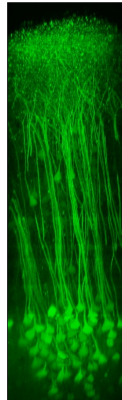
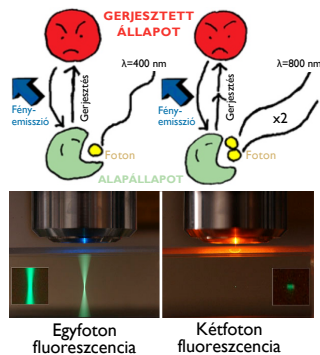


Zöld: mikrotubulusok; Vörös: aktin; Kék: sejtmag

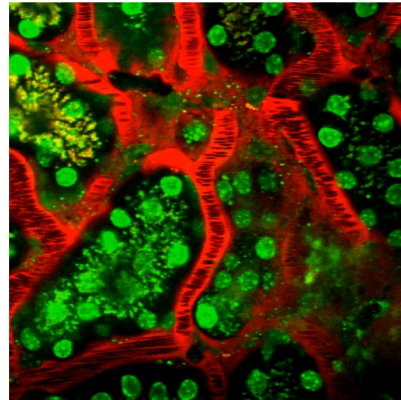
Multifoton fluoreszcencia mikroszkópia

Monokromaticitás, irányíthatóság, rövid impulzusok

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



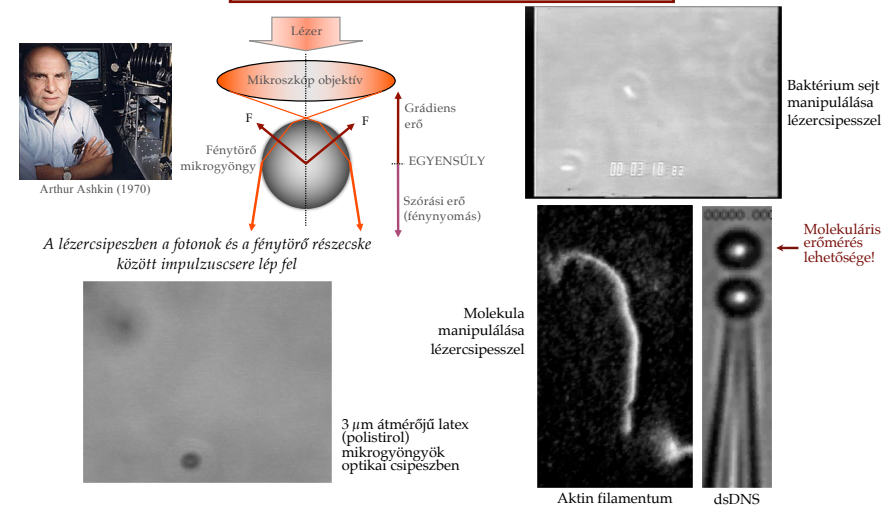
Agykérgi piramissejtek



Zöld: proximális vesetubulusok; Vörös: albumin (plazma)

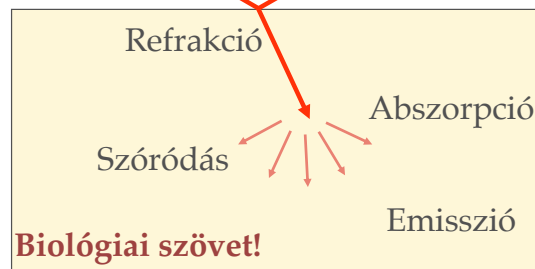
LÉZERCSIPESZ

Teljesítménysűrűség, irányíthatóság



A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI

Beeső lézernyaláb Reflexió



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

Megfontolandó lézertulajdonságok:

- Irányíthatóság (kis divergencia, sebési alkalmazások)
- Teljesítménysűrűség (sebési alkalmazások)
- Monokromaticitás (szöveti abszorbanca)
- Koherencia (interferencia, képalkotás)

A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI

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

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

Fogászat: szuvas részek preferáltan abszorbeálóknak.

Photodynamikus 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



Kezelés előtt



Kezelés után

ANYAJEGY (NAEVUS) ELTÁVOLÍTÁS



Kezelés előtt



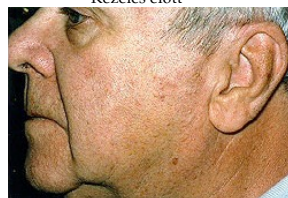
Kezelés után

BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK:

FELÜLETES EREK, VÉNÁK ELTÁVOLÍTÁSA



Kezelés előtt



Kezelés után

BŐR FELÜLETI MÓDOSÍTÁSA ("RESURFACING")



Ránctalanítás



Rhinophyma (faggyúmirigy hipertófia, fibrózis)

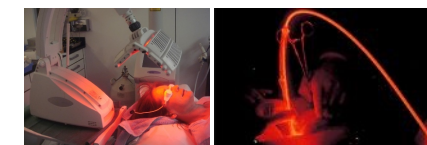
ONKOLÓGIAI ALKALMAZÁSOK FOTODINÁMIÁS TERÁPIA

Photodynamias terápia (PDT):

Roswell Park Cancer Institute 1970-es évek.

Háromkomponensű tumorterápiás módszer:

1. Fotoszenzitizer 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.

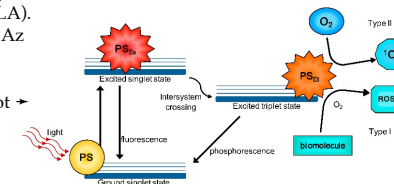


Fény szervezetbe juttatása: felületi megvilágítás, optikai kábel

Lépések:



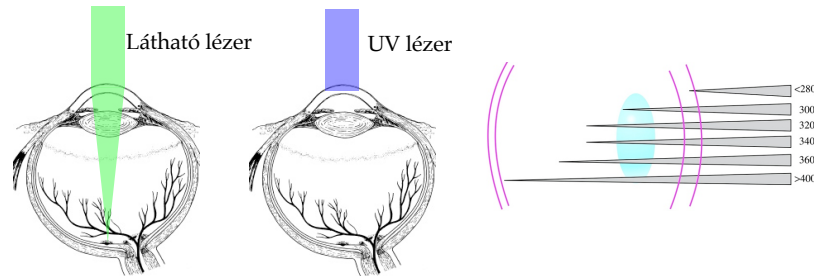
1. Fotoszenzitizer beadása (aminolevulinsav, ALA).
2. Néhány órás inkubációs idő koncentrációja a tumorban. Az ALA protoporphyrin IX-é alakul.
3. A célterület megvilágítása diódlézerrel (néhány perc).
4. Protoporphyrin abszorbeál → gerjesztett szingulett állapot → triplett állapot → energiatranszfer 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:

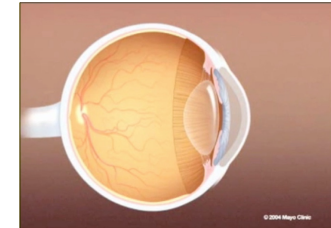
Jose Barraquer, 1970: microkeratome építése, mellyel a corneába lézerrel hasadékokat vágott és lemezeket alakított ki (keratomileusis).

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 megajzolása
3. Cornea felületéről egy lemez felhajítása (fs lézerrel)
4. Stroma anyagából eltávolítás (néhány 10 mikrométer vastagságban). Excimer lézer (193 nm).



SZEMÉSZETI ALKALMAZÁSOK:

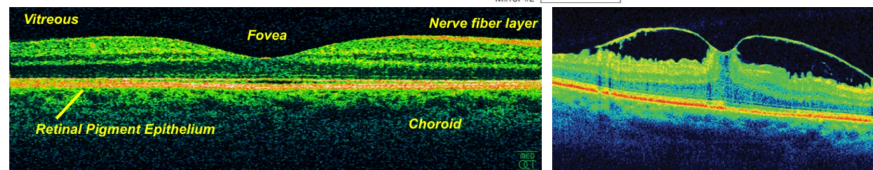
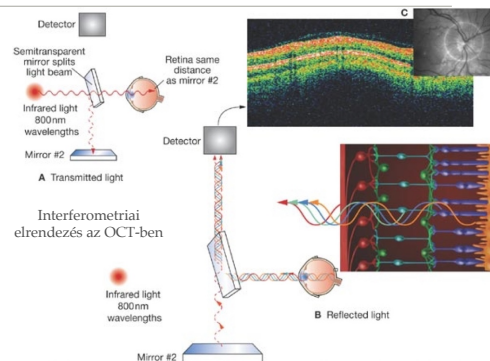
OCT

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

OMHV



<http://report.semmelweis.hu/linkreport.php?qr=3HV12TU5RAISDVL8>

PIN: Y5D