

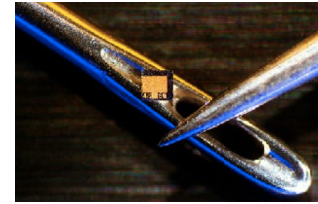
# LÉZER

KELLERMAYER MIKLÓS

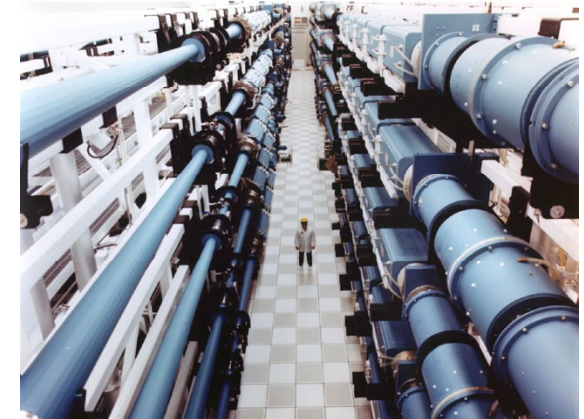
## LÉZEREK MINDENÜTT

“LIGHT Amplification by Stimulated Emission of Radiation”

Fényerősítést megvalósító lumineszcens fényforrás.

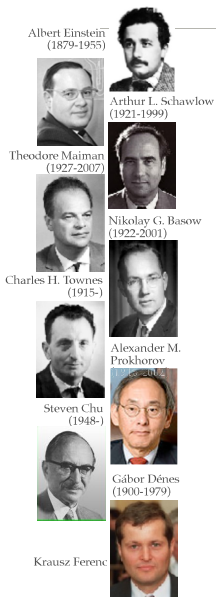


5 mW diódlézer  
néhány mm



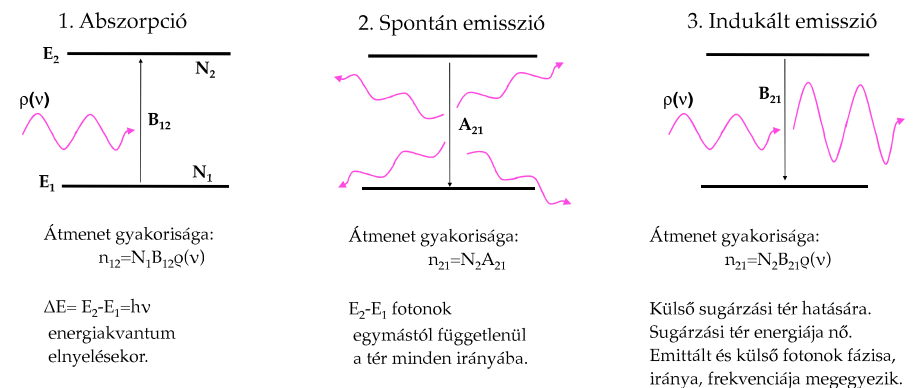
Terawattos NOVA lézer - Lawrence Livermore Laboratories  
Futballpálya méret

## LÉZERTÖRTÉNET DIÓHÉJBAN



- **1917** - *Albert Einstein*: indukált emisszió elméleti predikciója.
- **1946** - *G. Meyer-Schwickerather*: első szemműtét 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.

## 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**),  $B_{12} = B_{21}$

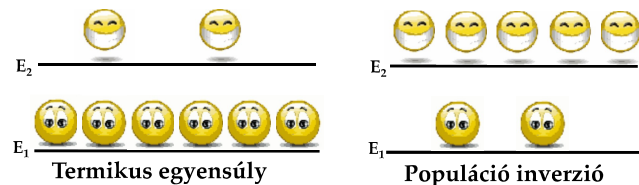
## A LÉZER ALAPJAI II. POPULÁCIÓ INVERZIÓ

Fényerősítés az energianívók relatív betöltöttségétől függ

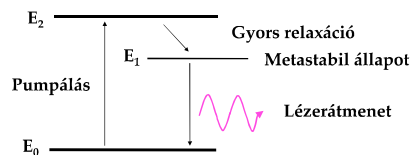
$dJ = JK(N_2 - N_1)dx$

$J$  = energiaáram-sűrűség  
 $K$  = állandó  
 $x$  = fény által a közegben megtett út  
 $N_1, N_2$  = atomok száma az energianívón

**N.B.: Ha  $dJ$  pozitív, több fény jön ki a közegből, mint amennyi bejut!**



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



## A LÉZERFÉNY TULAJDONSÁGAI I.

### 1. Kis divergencia

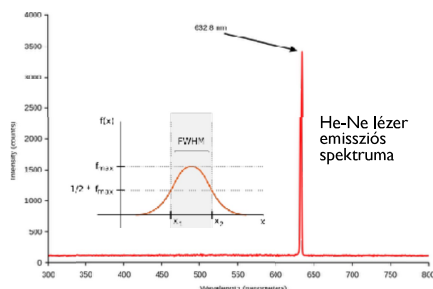
Párhuzamos nyaláb

### 2. Nagy teljesítmény

Folytonos üzemmódban több tíz, akár száz W (pl. CO<sub>2</sub> lézer)  
 Q-csatolású üzemmódban a pillanatnyi teljesítmény hatalmas (GW)  
 Kis divergencia miatt óriási térbeli teljesítménysűrűség

### 3. Kis spektrális sávszélesség

“Monokromaticitás”  
 Nagy spektrális energiasűrűség

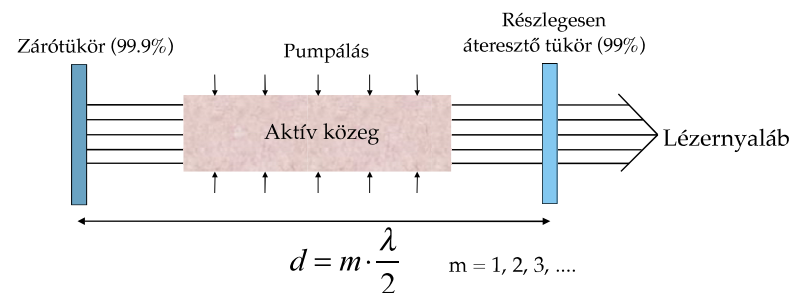


### 4. Polarizáltság

### 5. Rendkívül rövid impulzusok lehetősége

ps, fs

## A LÉZER ALAPJAI III. OPTIKAI REZONANCIA



### Rezonátor:

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

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

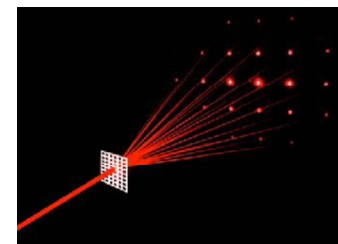
## A LÉZERFÉNY TULAJDONSÁGAI II.

### 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 fémszennyeződések; Rubin, Nd-YAG, Ti-zafir

Vörös-infravörös spektrális tartomány; Folytonos, Q-kapcsolású üzemmód, nagy teljesítmény

## 2. Gázlézerek

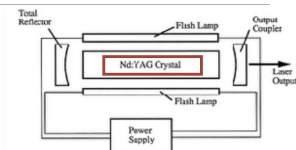
Legismertebb: He-Ne lézer (10 He/Ne). Kis energia, Széleskörű használat  
CO<sub>2</sub> lézer: CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-He keverék; λ=10 μm; Óriási teljesítmény (100 W)

## 3. Festéklézerek

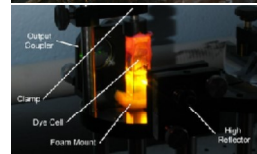
Szerves festékek (pl. rodamin, kumarin) híg oldata; Pumpálásra más lézer használt  
Nagy teljesítmény (Q-kapcsolt módban); Hangolható

## 4. Félvezető (dióda) lézerek

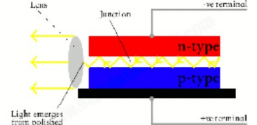
Összefekvő p- és n-típusú, szennyezett félvezetők határán.  
Rezonátor tükrökre nincs szükség (belső visszaverődés)  
Vörös, IR spektrális tartomány. Nagy kontinuos üzemmódú teljesítmény (akár 100W)  
Nyalábkarakterisztika nem túl jó. Kis méret miatt széleskörű alkalmazás.



fémleap vágása CO<sub>2</sub> lézerrel

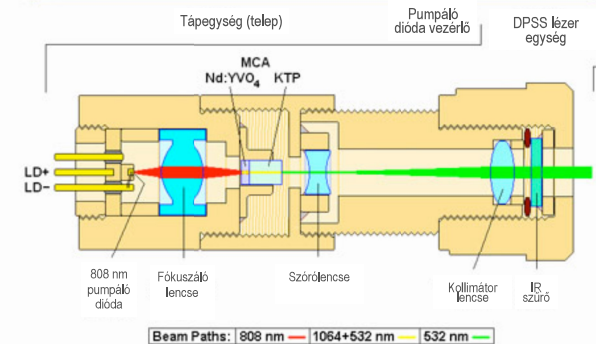


festéklézer



diódalézer

# A ZÖLD LÉZERMUTATÓ



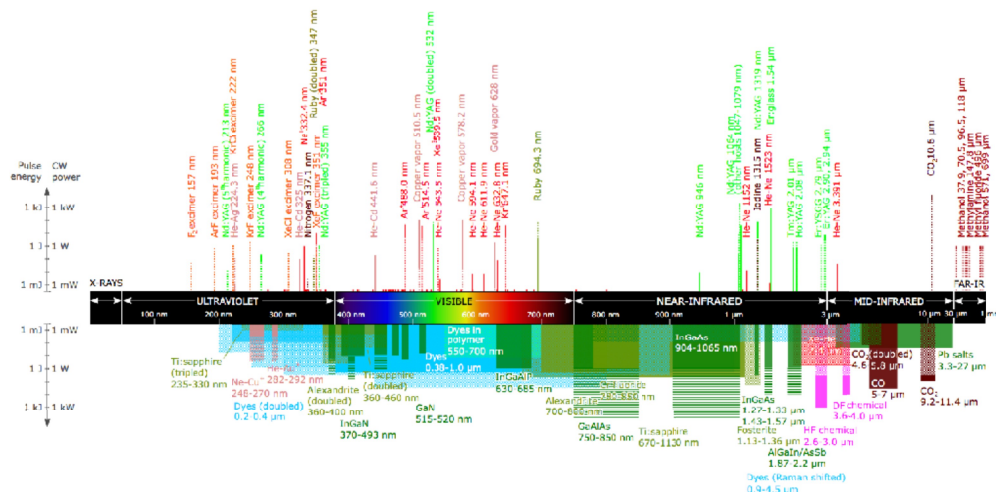
Lépések:

1. Diódalézer (808 nm) pumpál
2. Szilárdtest-lézer (Nd:YVO<sub>4</sub>: neodimiummal szennyezett yttrium-vanadát) 1064 nm-es fényt állít elő
3. KTP (kálium titanil-foszfát) kristály frekvenciát dupláz (hullámhossz felez): 532 nm (zöld)

\*Megjegyzések:

DPSS: diode-pumped solid state  
MCA: multiple crystal assembly  
LD: laser diode

# LÉZEREK, SPEKTRÁLIS VONALAK ÉS SÁVOK



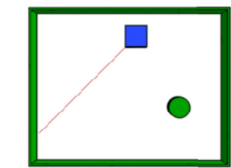
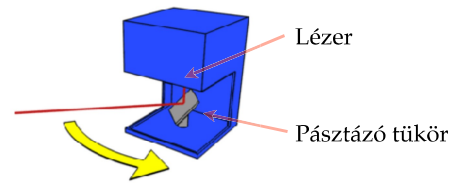
A röntgentől az infravörösig rendelkezésre állnak lézervonalak.

# LÉZERALKALMAZÁS SZEMPONTJAI

- Irányíthatóság
- Teljesítmény
- Monokromaticitás
- Koherencia

# SEBESSÉGMÉRÉS LÉZERREL

LIDAR: “LIGHT DETECTION AND RANGING”



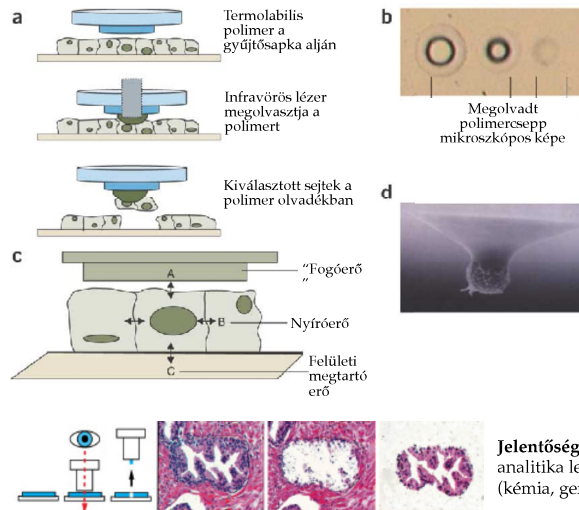
Felülnézeti elrendezés



Felvétel:  
rekonstruált térbeli  
elhelyezkedés.  
Közlekedési  
sebességmérőben:  
100 impulzus 0.3 s alatt

## “LASER CAPTURE MICRODISSECTION”

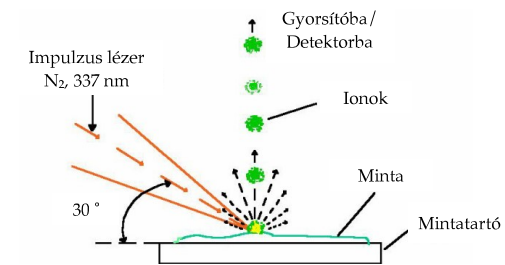
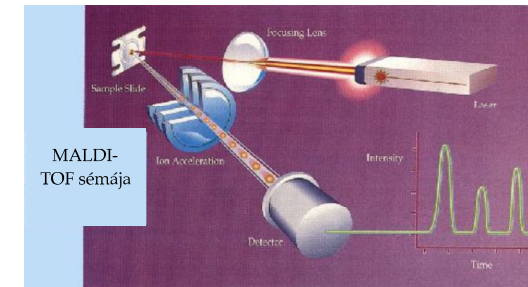
Teljesítménysűrűség



**Jelentőség:** lokális  
analitika lehetősége  
(kémia, genetika)

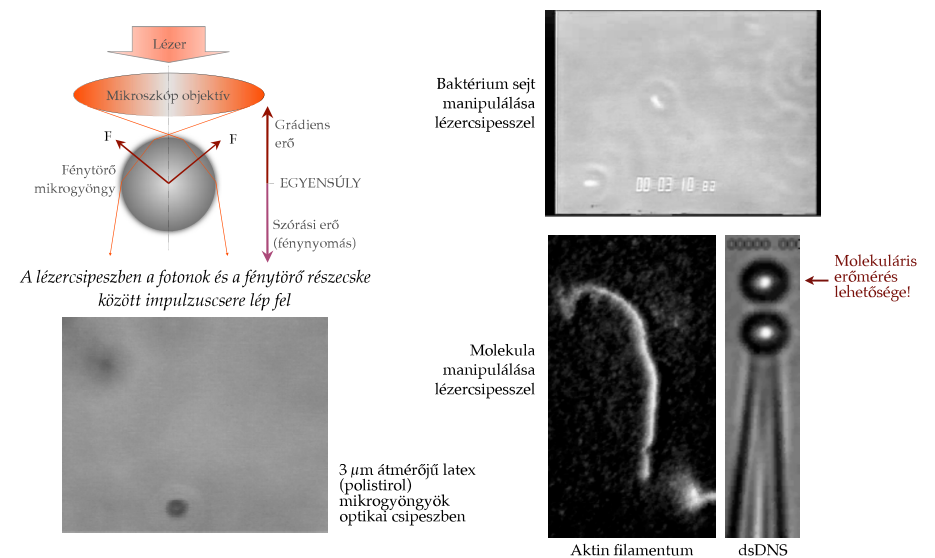
## MALDI-TOF:

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



## LÉZERCSIPESZ

Teljesítménysűrűség



Baktérium sejt  
manipulálása  
lézercsipeszsel

Molekula  
manipulálása  
lézercsipeszsel

3  $\mu\text{m}$  átmérőjű latex  
(polistirol)  
mikrogöngyök  
optikai csipeszben

Aktin filamentum

dsDNS

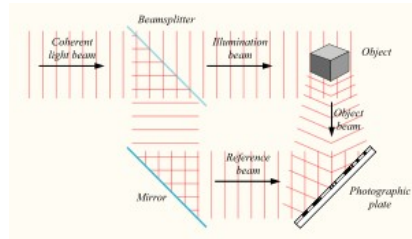
Molekuláris  
erőmérés  
lehetősége!



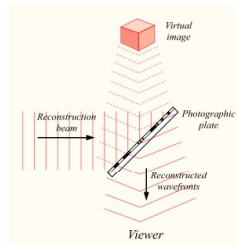
# HOLOGRÁFIA



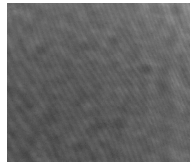
Gábor Dénes  
(1900-1979)



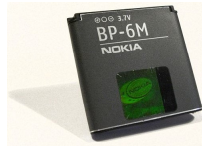
Hologram felvétele



Hologram megtekintése



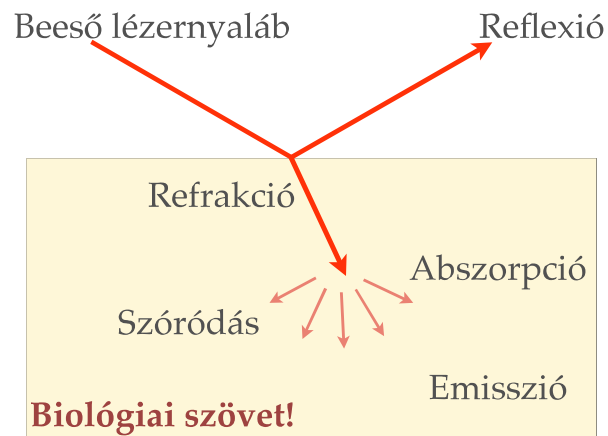
Hologram fotolemez felülete



Hologramok



## A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI I.



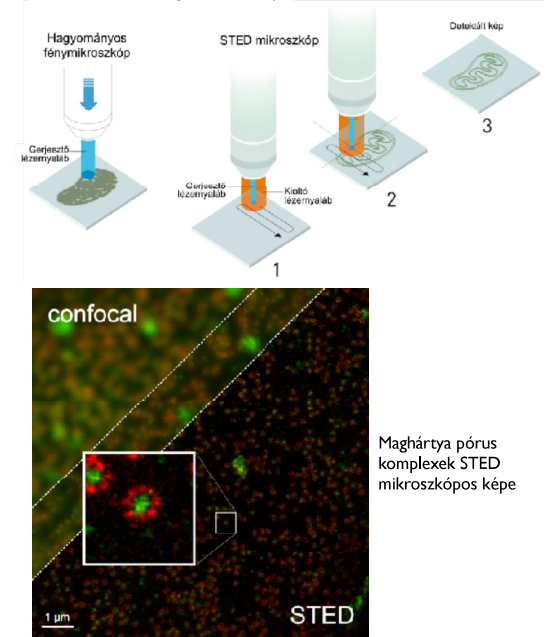
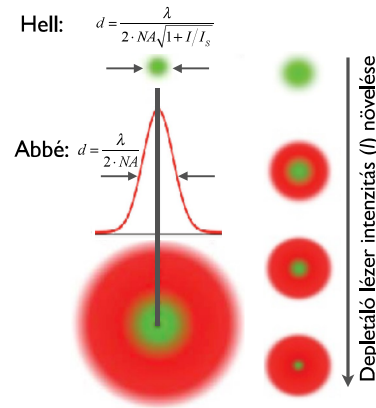
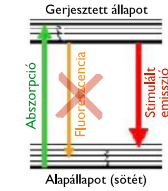
A biológiai szövet tulajdonságai alapvetőek a hatás kialakításában: abszorbancia, fényindukált reakciók

## STED mikroszkópia (STimulated Emission Depletion)

Lézer alapjelenség,  
monokromaticitás,  
teljesítmény, irányíthatóság



Stefan Hell  
(Nobel-díj 2014)



## A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI II.

**Sebészeti szakmák:** "lézerszike", koaguláció, vérzés nélküli operáció. Daganatteltávolítás. CO<sub>2</sub> 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:

### 1. SZEMPONTOK

---

#### 1. Alkalmazott hullámhossz:

- Argon: 488 or 514.5 nm
- Ruby: 694 nm
- Alexandrite: 755 nm
- Pulsed diode array: 810 nm
- Nd:YAG: 1064 nm

#### 2. Impulzusszélesség

#### 3. Megvilágított terület nagysága (8-10 mm átmérő)

#### 4. Energiasűrűség ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )

#### 5. Repetíciós ráta (akkumulációs hatások)

#### 6. Epidermális hűtés (gélek, folyadékok, spray-k, levegő)

## BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK:

### 3. TETOVÁLÁS ELTÁVOLÍTÁS

---

Q-kapcsolású Nd:YAG lézer (1064 nm)



Kezelés előtt



Kezelés után

## BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK:

### 2. 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:

### 4. ANYAJEGY ELTÁVOLÍTÁS

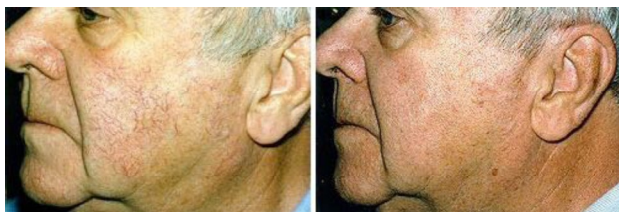
---



Kezelés előtt

Kezelés után

## BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK: 5. FELÜLETES EREK, VÉNÁK ELTÁVOLÍTÁSA



Kezelés előtt

Kezelés után



Kezelés előtt

2 évvel a kezelés után

## BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK: 6. BŐR FELÜLETI MÓDOSÍTÁSA (“RESURFACING”)

1993. Adrian  
CO<sub>2</sub>, Erbium:YAG lézer



Ráncalanítás



Napkárosítás



Rhinophyma (faggyúmirigy hipertófia, fibrózis)



Szisztémás epidermális naevusok

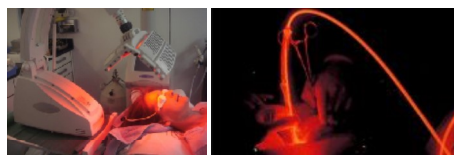
## FOTODINÁMIÁS TERÁPIA

### Photodynamias terápia (PDT):

Roswell Park Cancer Institute 1970-es évek.

### Háromkomponensű tumorterápiás módszer:

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

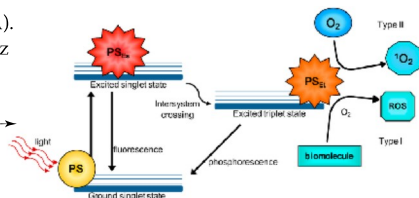


Fény szervezetbe juttatása: felületi megvilágítás, optikai kábel

### Lépések:

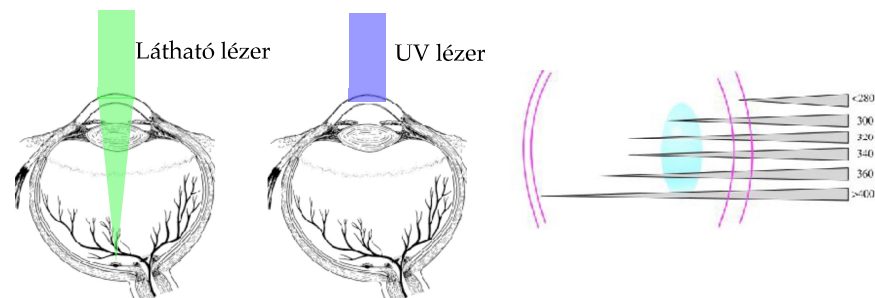


1. Fotoszenzitizáló prekursor beadása (aminolevulinsav, ALA).
2. Néhány órás inkubációs idő koncentrációja a tumorban. Az ALA protoporphyrin IX-é alakul.
3. A célterület megvilágítása diódlézerrel (néhány perc).
4. Protoporphyrin abszorbeál → gerjesztett szingulett állapot → triplett állapot → energiatranszfer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



## SZEMÉSZETI ALKALMAZÁSOK: 1. ALAPELVEK

Az optikai közegek transzmittivitása hullámhossz-függő





# SZEMÉSZETI ALKALMAZÁSOK:

## 2. LASIK

### “Laser-assisted In Situ Keratomileusis”

A refraktív lézer-szemsebészet egy fajtája

#### Történet:

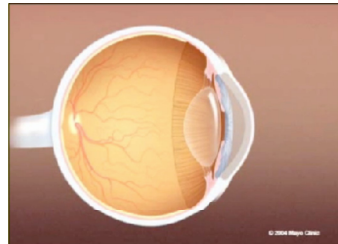
**Jose Barraquer, 1970:** microkeratome építése, mellyel a corneába lézerrel hasadékokat vágott és lemezeket alakított ki (keratomileusis).

**Lucio Buratto (Olasz) és Ioannis Pallikaris (Görög), 1990:** keratomileusis és photorefraktív keratektomia 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 felhajítása (fs lézerrel)
4. Stroma anyagából eltávolítás (néhány 10 mikrométer vastagságban). Excimer lézer (193 nm).



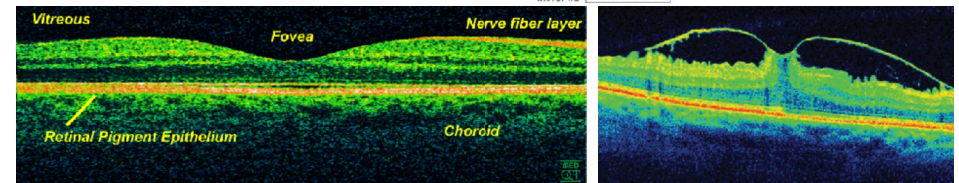
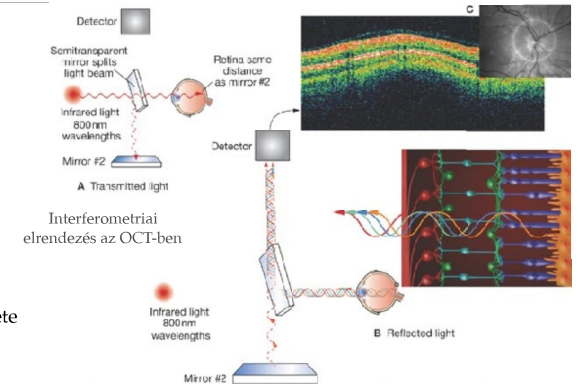
# SZEMÉSZETI ALKALMAZÁSOK:

## 3. 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