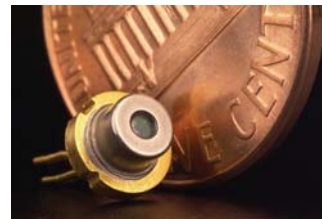


LÉZER

KELLERMAYER MIKLÓS

LÉZEREK MINDENÜTT



5 mW diódalézer
néhány mm



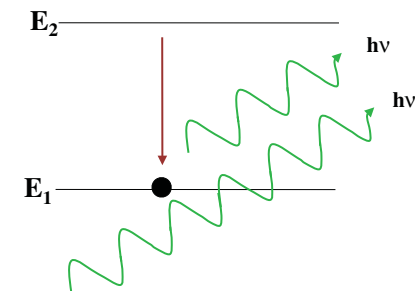
Terawattos NOVA lézer - Lawrence Livermore Laboratories
Futballpálya méret

LÉZER

1. Mi a lézer?
2. Rövid lézertörténet
3. A lézerműködés alapjai
4. A lézerfény tulajdonságai
5. A lézerek típusai
6. A lézer orvosi és biológiai alkalmazásai

LÉZER:

“LIGHT Amplification by Stimulated Emission of Radiation”



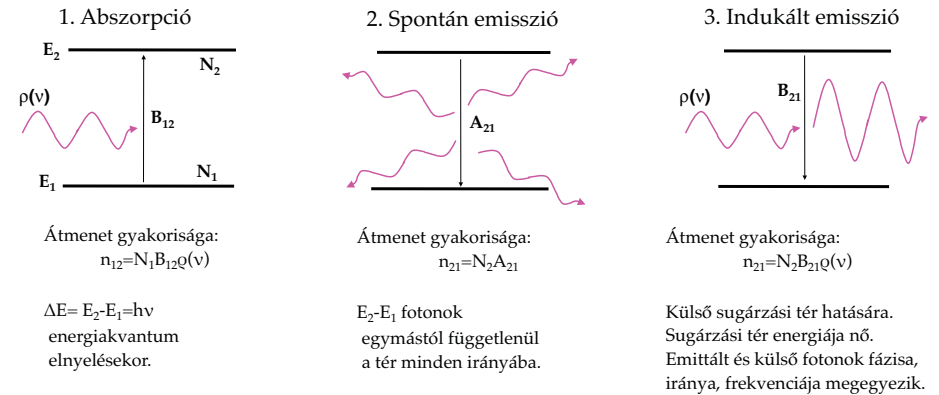
Fényerősítést megvalósító lumineszcens fényforrás.
MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation

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. 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.

A LÉZER ALAPJAI I. INDUKÁLT (STIMULÁLT) EMISSZIÓ



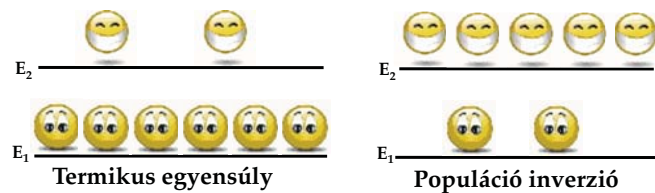
Magyarázat: kétállapotú atomi vagy molekuláris rendszer
 E_1, E_2 : energianívók, $E_2 > E_1$
 $Q(\nu)$: sugárzási tér spektrális energiasűrűsége
 N_1, N_2 : adott energianívón levő atomok, molekulák száma
 B_{12}, A_{21}, B_{21} : energianívók közötti átmeneti valószínűségek (Einstein-féle együtthatók), $B_{12} = B_{21}$

A LÉZER ALAPJAI II. POPULÁCIÓ INVERZIÓ

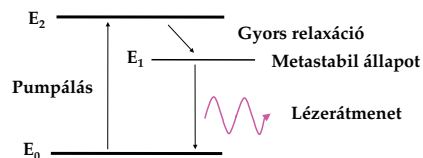
Fényerősítés az energianívók relatív betöltöttségétől függ

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

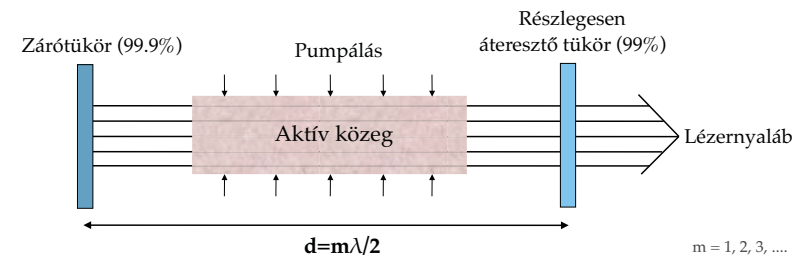
N.B.: Ha dJ pozitív, több fény jön ki a közegből, mint amennyi bejut!



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



A LÉZER ALAPJAI III. OPTIKAI REZONANCIA



Rezonátor:

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

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

A LÉZERFÉNY TULAJDONSÁGAI I.

1. Kis divergencia

Párhuzamos nyaláb

2. Nagy teljesítmény

Folytonos üzemmódban több tíz, akár száz W (pl. CO₂ lézer)

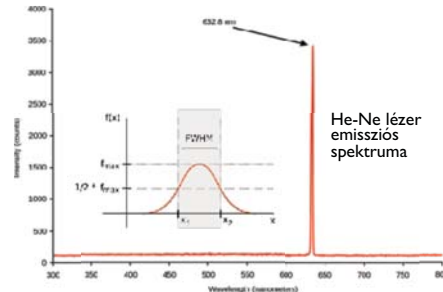
Q-csatolású üzemmódban a pillanatnyi teljesítmény hatalmas (GW)

Kis divergencia miatt óriási térbeli teljesítménysűrűség

3. Kis spektrális sávszélesség

“Monokromaticitás”

Nagy spektrális energiasűrűség



4. Polarizáltság

5. Rendkívül rövid impulzusok lehetősége

ps, fs

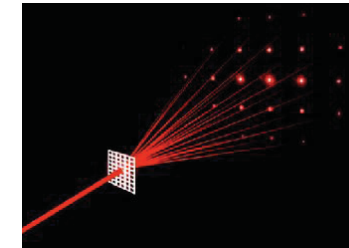
A LÉZERFÉNY TULAJDONSÁGAI II.

6. Koherencia

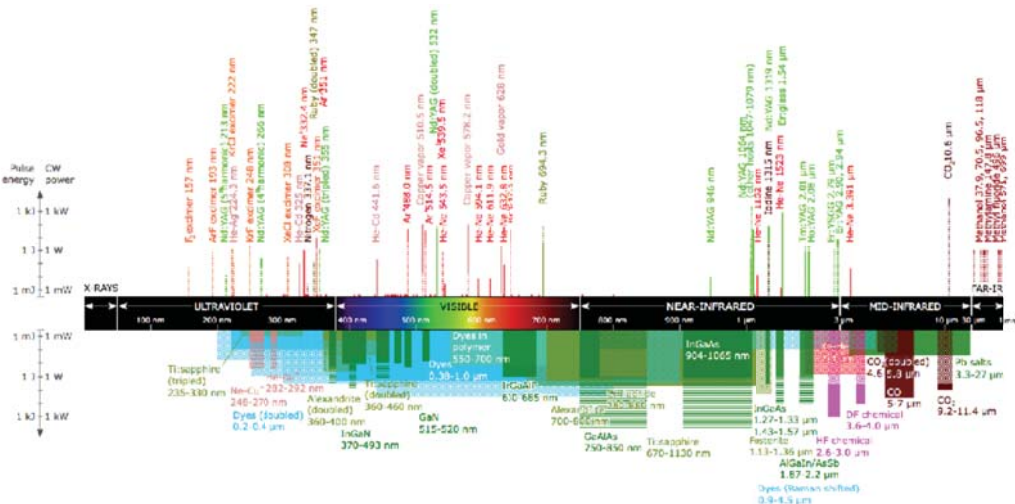
fázisazonosság, interferenciaképesség

Időbeli koherencia (különböző időpontokban emittált fotonok fázisazonossága)

Térbeli koherencia (nyalábkeresztmetszet menti fázisazonosság)



LÉZEREK, SPEKTRÁLIS VONALAK ÉS SÁVOK



A röntgentől az infravörösig rendelkezésre állnak lézervonalak.

LÉZEREK ALKALMAZÁSA

TELJESÍTMÉNY ALAPJÁN

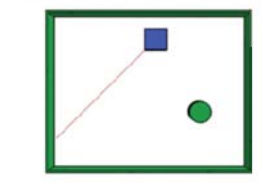
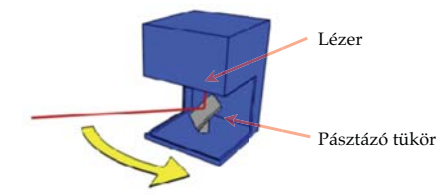
- 5 mW – CD-ROM meghajtó
- 5–10 mW – DVD lejátszó vagy DVD-ROM meghajtó
- 100 mW – Nagysebességű CD-RW író
- 250 mW – DVD-R író
- 1–20 W – szilárdtest-lézer mikromegmunkálásra
- 30–100 W – sebészeti CO₂ lézer
- 100–3000 W – ipari CO₂ lézer (lézervágó)
- 1 kW – 1 cm diódalézer rúd

LÉZERALKALMAZÁS SZEMPONTJAI

- Irányíthatóság
- Teljesítmény
- Monokromaticitás
(fluoreszcencia alkalmazás - lásd következő előadás!)
- Koherencia

SEBESSÉGMÉRÉS LÉZERREL

LIDAR: “LIGHT DETECTION AND RANGING”



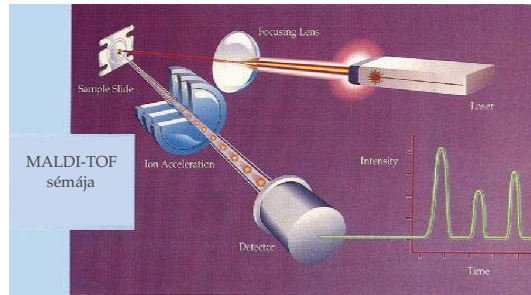
Felülnézeti elrendezés

Irányíthatóság

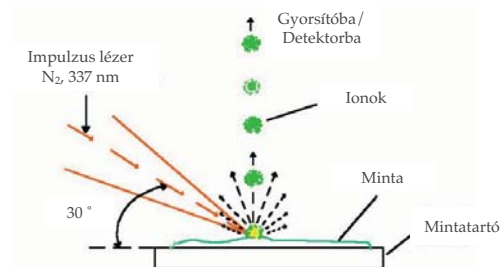
Felvétel:
rekonstruált térbeli
elhelyezkedés.
Közlekedési sebességmérésben:
100 impulzus 0.3 s alatt

MALDI-TOF:

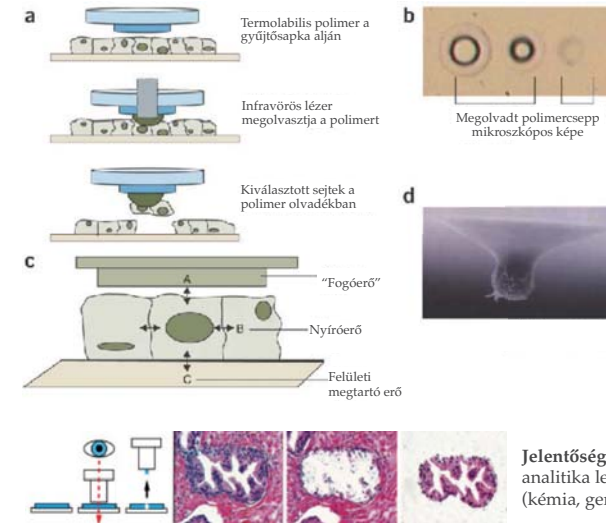
MATRIX-ASSISTED LASER DESORPTION/IONIZATION
TIME OF FLIGHT MASS SPECTROMETRY



Teljesítménysűrűség

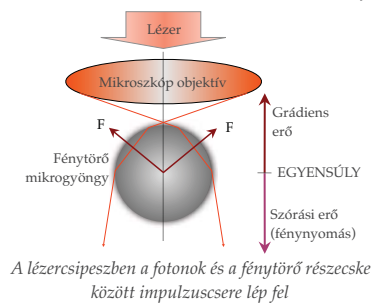


“LASER CAPTURE MICRODISSECTION”

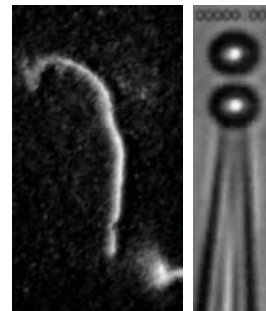
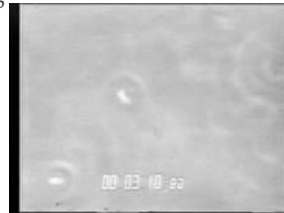


LÉZERCSIPESZ

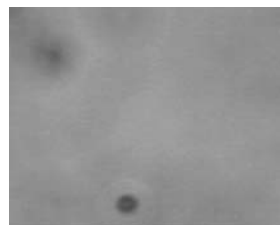
Teljesítménysűrűség



Baktérium sejt manipulálása lézercsipeszsel



Molekuláris erőmérés lehetősége!

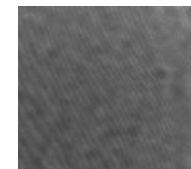
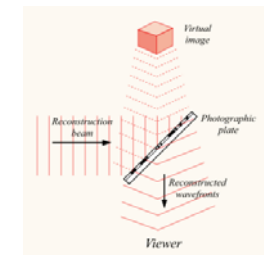
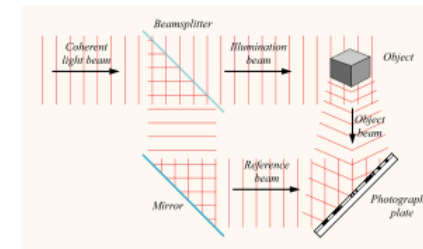


Aktin filamentum

dsDNS

HOLOGRÁFIA

Koherencia



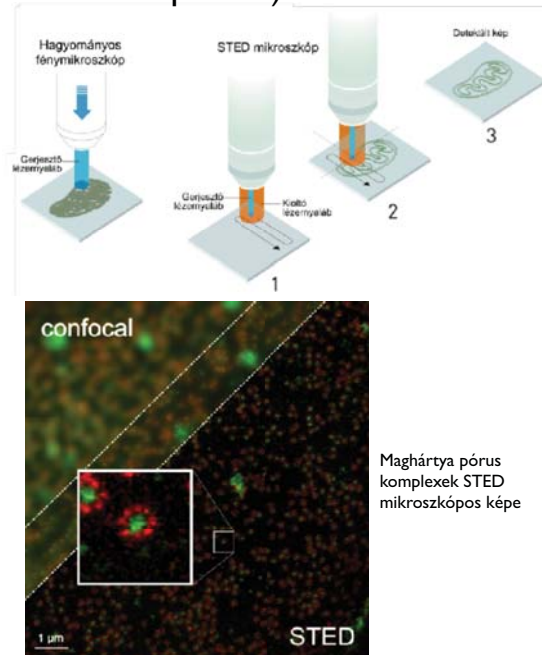
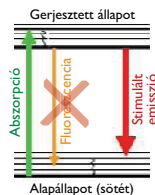
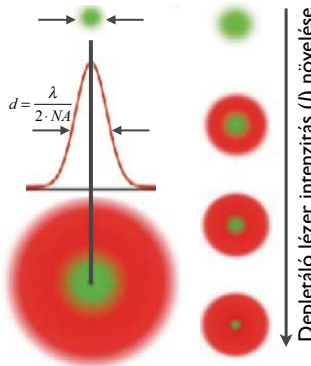
STED mikroszkópia (STimulated Emission Depletion)



Stefan Hell
(Nobel-díj 2014)

Hell:
$$d = \frac{\lambda}{2 \cdot NA \sqrt{1 + I/I_s}}$$

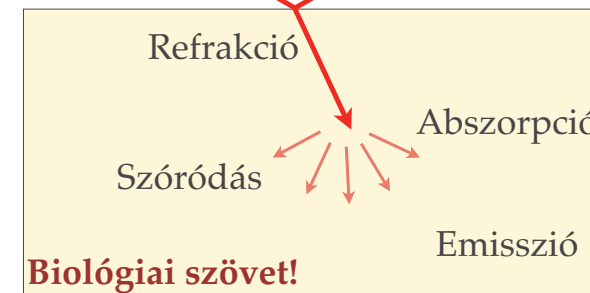
Abbé:
$$d = \frac{\lambda}{2 \cdot NA}$$



A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI I.

Beeső lézernyaláb

Reflexió



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

A LÉZER ORVOSI ALKALMAZÁSAI II.

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, szörzet, 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 (J/cm²)

5. Repetíciós ráta (akkumulációs hatások)

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

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:

3. TETOVÁLÁS ELTÁVOLÍTÁS

Q-kapcsolású Nd:YAG lézer (1064 nm)

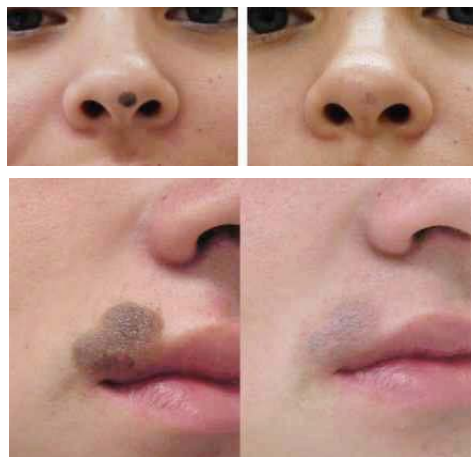


Kezelés előtt

Kezelés után

BŐRGYÓGYÁSZATI ALKALMAZÁSOK:

4. ANYAJEGY ELTÁVOLÍTÁS

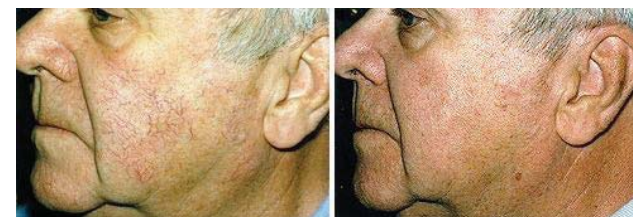


Kezelés előtt

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
CO₂, Erbium:YAG lézer



Ráncalanítás



Napkárosítás



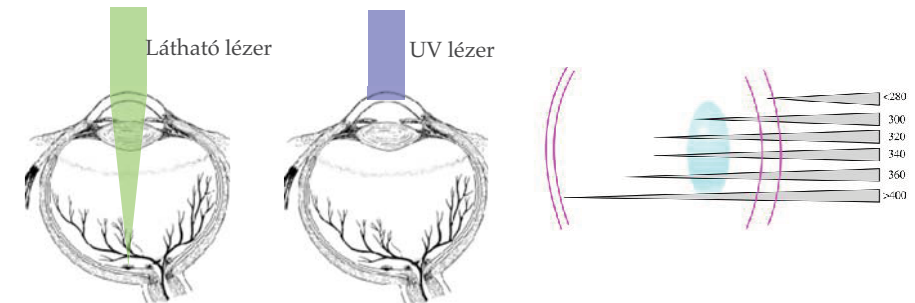
Rhinophyma (faggyúmirigy hipertófia, fibrózis)



Szisztémás epidermális naevusok

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:

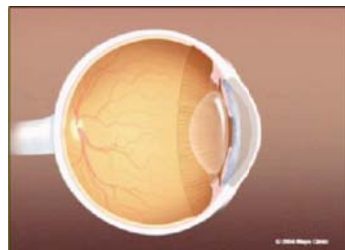
Jose Barraquer, 1970: microkeratome építése, mellyel a corneába lézerrel hasadékokat vágott és lemezeket alakított ki (keratomileusis).

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

Thomas and Tobias Neuhann (Németo), 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 felhajtása (fs lézerrel)
4. Stroma anyagából eltávolítás (néhány 10 mikrométer vastagságban). Excimer lézer (193 nm).

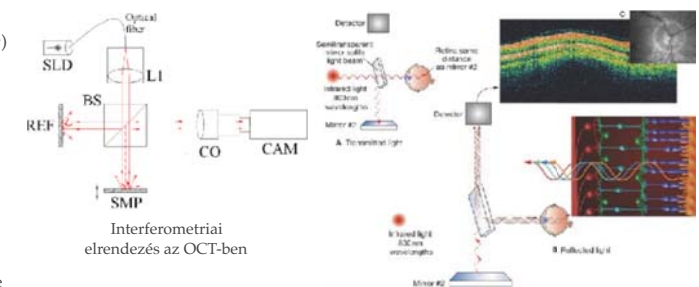


OCT

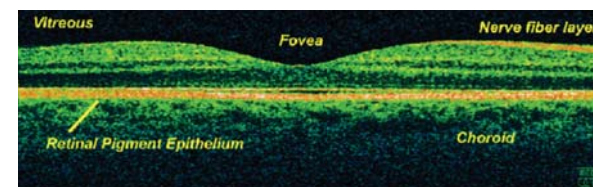
Optikai koherencia tomográfia
(Optical Coherence Tomography)

- noninvazív
- kontrasztanyagmentes
- majdnem mikroszkópikus felbontás

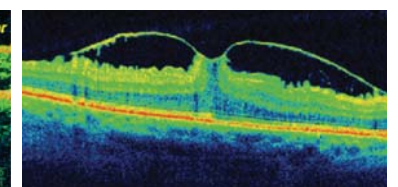
Működési elv: a minta mélyebb részeiben visszaverődő, illetve szóródó sugarak interferometria segítségével szétválaszthatók. A reflektáló rétegek helyzete meghatározható. A minta szerkezete (1-2 mm mélységben) feltárható.



Interferometriai elrendezés az OCT-ben



Normál retina



Macula degeneráció

FOTODINÁMIÁS TERÁPIA

Photodynamiás terápia (PDT):

Roswell Park Cancer Institute 1970-es évek.

Háromkomponensű tumorterápiás módszer:

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

Lépések:

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

