

# Πηγές Ενέργειας στην Ουρολογία : LASER

Ανδρέας Σκολαρίκος MD, PhD, FEBU  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ουρολογίας  
ΕΚΠΑ

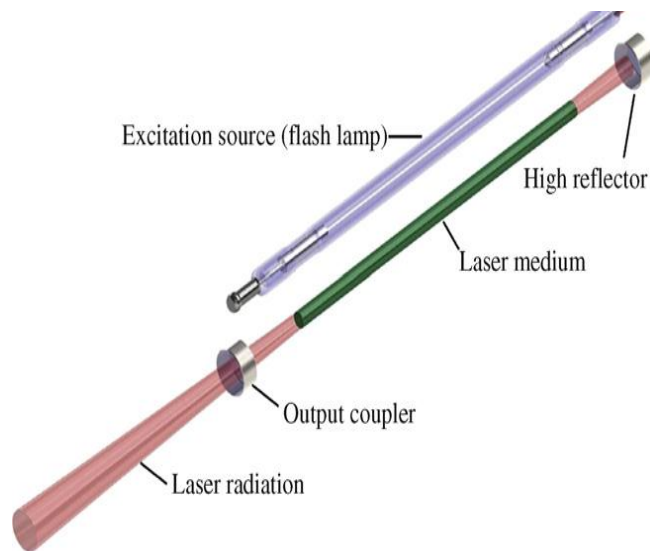


# Τι είναι το Λείζερ;

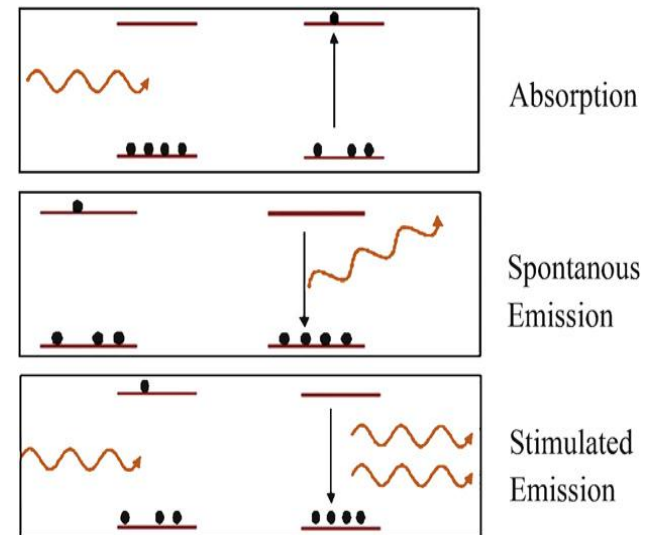
Φως (**light**) που εκπέμπεται από λάμπα

Περνάει μέσα από ενεργό μέσο  
(αέριο, κρύσταλλο, γυαλί, χρωστική)

Και ενισχύεται μέσα στο μέσο  
μετά από επαγωγική εκπομπή  
φωτονίων



Optical resonator with excitation source (flash lamp).  
LISA laser, Katlenburg, Germany



# Γιατί τα Λείζερ είναι σημαντικά;

## Χαρακτηριστικά της δέσμης

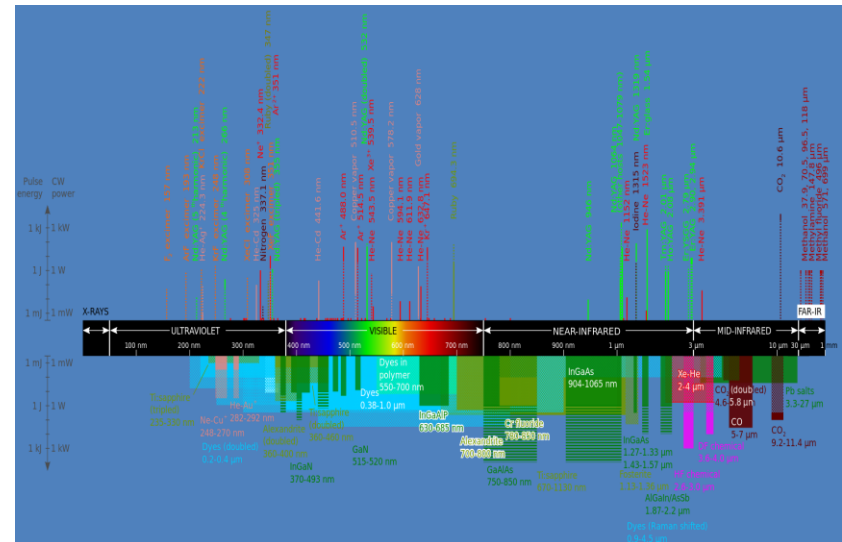
- **Συναφής (Coherent)**: τα ενεργειακά κύματα είναι στην ίδια φάση (χρόνου και τόπου)
- **Ευθυγραμμισμένη (Collimated)** : δεν αποκλίνουν (i.e. Είναι εστιασμένα, ταξιδεύουν παράλληλα)
- **Μονοχρωματική (Monochromatic)**: είναι μονήρους μήκος κύματος, συχνότητας και ενέργειας (αντίθετα από το λευκό φως)



# Γιατί τα Λείζερ είναι σημαντικά;

## Ευρύ φάσμα εκπομπής φωτός

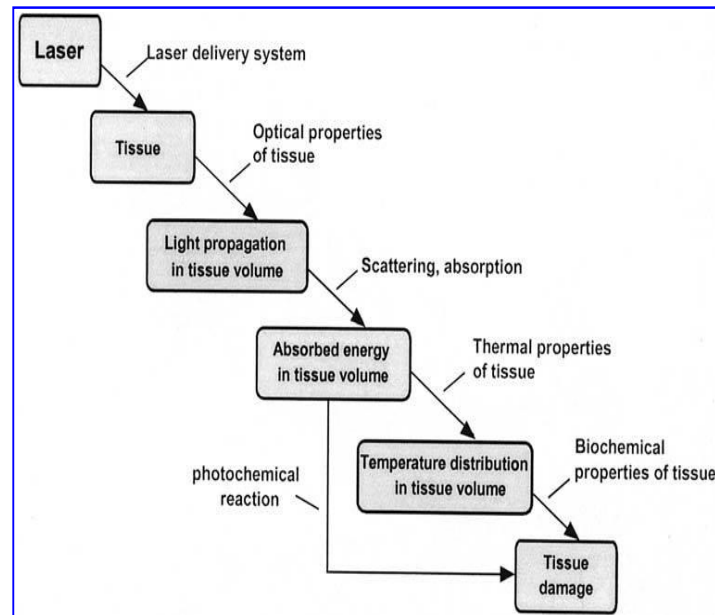
- Υπεριώδεις 200nm - υπέρυθρες 10μm WL
- 300nm-2.2μm WL το φως μπορεί να μεταδοθεί διαμέσου πολύ λεπτών αλλά μηχανικά ισχυρών ινών χαλαζία



# Πως λειτουργούν τα Λείζερ;

## Ιδιότητες του Ιστού

- Δομή (Structure)
- Περιεκτικότητα σε νερό (Water content)
- Αιματική κυκλοφορία (Blood circulation)
- Απορρόφηση (Absorption)
- Διασκόρπιση (Scattering)
- Αντανάκλαση (Reflection)
- Αγωγιμότητα (Thermal conductivity)
- Θερμοχωρητικότητα (Heat capacity)
- Πυκνότητα θερμότητας (Heat density)

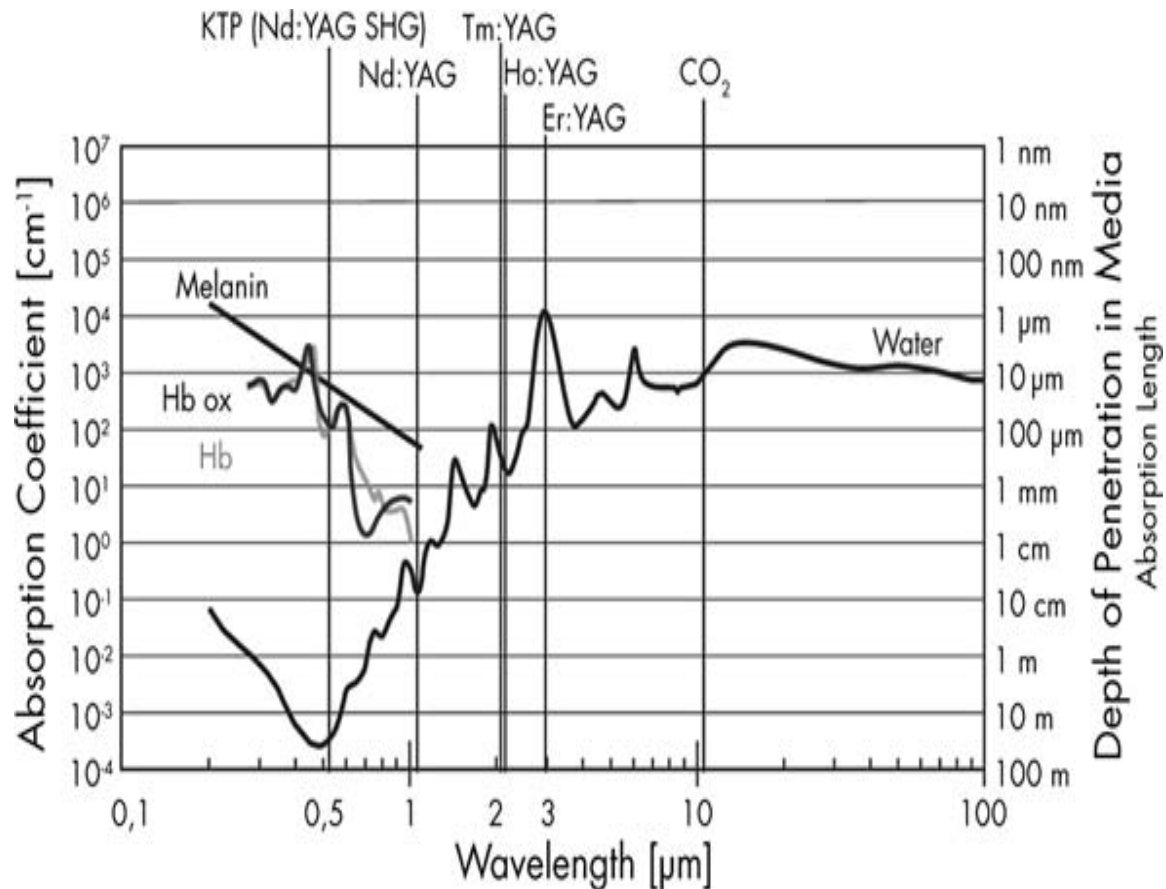


## Παράμετροι του Λείζερ

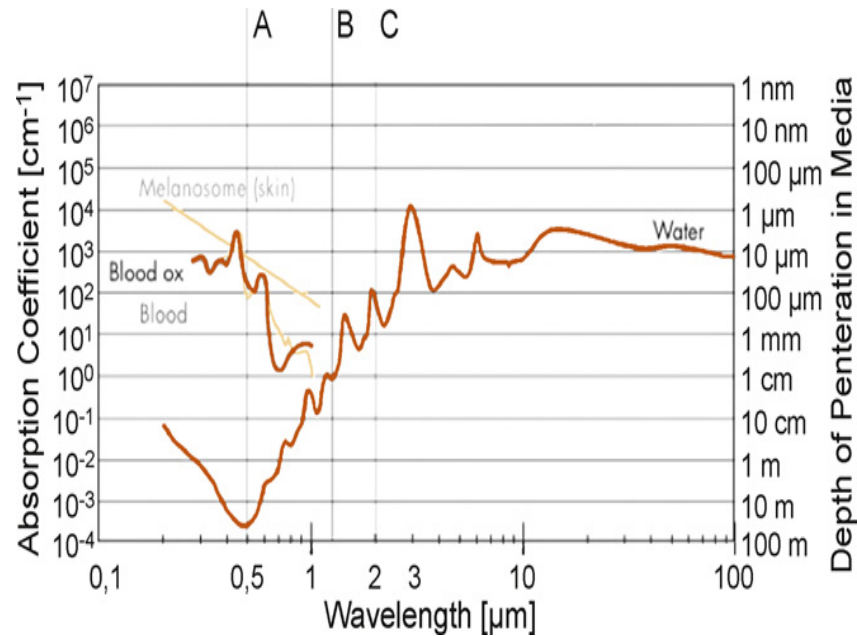
- Πυκνότητα ισχύος (Power density)
- Ενεργειακό περιεχόμενο (Energy content)
- Μήκος κύματος (Wavelength)
- Παλμική (Pulse mode; energy release)
- Μήκος παλμού (Pulse length)



# Πως λειτουργούν τα Λείζερ;



# Πως λειτουργούν τα Λείζερ;



Φάσμα απορρόφησης ανάλογα με το επικρατούν χρωμόφορο του σώματος

Απορρόφηση χρωμόφορου σε εκπομπή λέιζερ (α) 500nm, (β) 1300nm (γ) 2000nm



# Πως λειτουργούν τα Λείζερ;

Συντελεστής Απορρόφησης	Μετά την είσοδο του λείζερ σε απορροφητικό μέσο, η ένταση της δέσμης του μειώνεται εκθετικά (Lambert-Beer law)
Absorption coefficient	Ο συντελεστής απορρόφησης χαρακτηρίζει πόσο γρήγορα η ακτίνα του λείζερ θα χάσει την ένταση μόνο από την απορρόφηση από το μέσο
	Εκφράζεται σαν μονάδες αμοιβαίου μήκους ( $\text{cm}^{-1}$ )
Μήκος Απορρόφησης Absorption length	Το μήκος απορρόφησης ορίζεται ως το «οπτικό μονοπάτι» κατά μήκος του οποίου $1-1/e$ ή 63% της ενέργειας του λείζερ έχει απορροφηθεί





# Πως λειτουργούν τα Λείζερ;

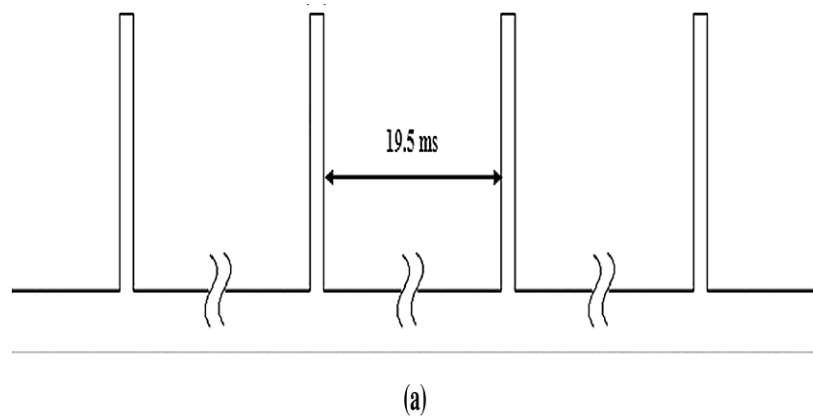
<b>Βάθος Διήθησης</b> (Penetration Depth)	Εκφράζεται από το <b>Μήκος Εξαφάνισης</b> (extinction length; EL)
	EL ορίζεται ως το μήκος στο οποίο το 90% της δέσμης του λέιζερ έχει απορροφηθεί και μετατραπεί σε θερμότητα
	EL είναι πολύ σημαντικό καθώς λέιζερ με μικρότερο μήκος μεταφέρει περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας μέσα στον ιστό
	Αυτό σημαίνει ότι για το ίδιο επίπεδο ισχύος (power level), ένα λέιζερ WL με μεγάλο EL διαχέει την παρεχόμενη ισχύ και δημιουργεί εν τω βάθει νέκρωση
ενώ	Ένα λέιζερ WL με πολύ μικρότερο EL επιτρέπει πιο συγκεντρωμένη μεταφορά της ενέργειας του φωτός, οδηγώντας σε άνοδο της θερμοκρασίας πάνω από το σημείο βρασμού, και κατά συνέπεια σε άμεση εξάτμιση του ιστού.



# Πως λειτουργούν τα Λείζερ;

## Παράμετροι του Λείζερ

- **Ισχύς** (Power ;  
Μεταδιδόμενη ενέργεια  
ανά μονάδα χρόνου)
- **Ενέργεια** (Energy) (J)
- **Συχνότητα** (Frequency)  
(Hz)
- **Μήκος κύματος**  
(Wavelength) (WL)
- **Πυκνότητα ισχύος**  
(ακτινοβολίας) (Power  
density) (irradiance)
- **Πυκνότητα ενέργειας**  
(ροής) (Energy Density)  
(Fluence)



## Παράμετροι του Λείζερ

- **Απελευθέρωση Ενέργειας**  
(Παλμική)(Energy release  
(Pulse mode) (cw/pulsed)  
(οριοθετεί την χρονική  
περίοδο κατά την οποία  
μεταφέρεται η ίδια  
ποσότητα ενέργειας)
- **Μήκος παλμού** (πλάτος)  
(Pulse length) (width)  
(οριοθετεί την διάρκεια  
του κάθε παλμού της  
ενέργειας του λείζερ)



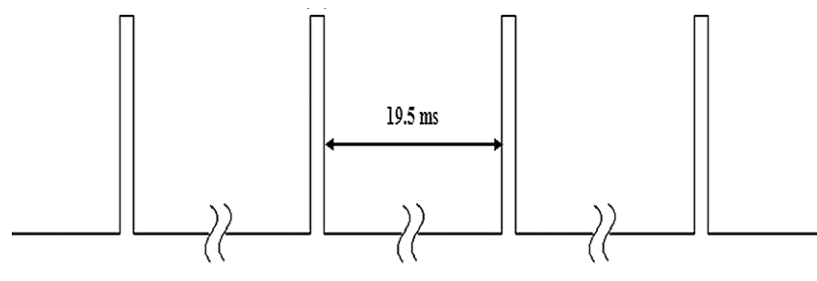
# Πως λειτουργούν τα Λείζερ;

**Ολική Ισχύς (W)** = Ενέργεια παλμού (J) x Συχνότητα Παλμού (Hz)

Total Power (W) = Pulse energy (J) x Pulse frequency (Hz)

**Πυκνότητα Ισχύος** = Ένταση / Επιφάνεια = Watts / cm<sup>2</sup>

Power Density = Intensity / Area = Watts / cm<sup>2</sup>



(a)

**Πυκνότητα Ενέργειας** = (Ένταση x Χρόνος) / Επιφάνεια = Watts.s/cm<sup>2</sup> = J/cm<sup>2</sup>

Energy Density = (Intensity x time) = Watts.s/cm<sup>2</sup> = J/cm<sup>2</sup>

**Βραχύς Παλμός** (180-330 μs) vs **Μακρύς Παλμός** (650-1215 μs)

Short-pulse (180-330 μs) vs Long-pulse (650-1215 μs) mode

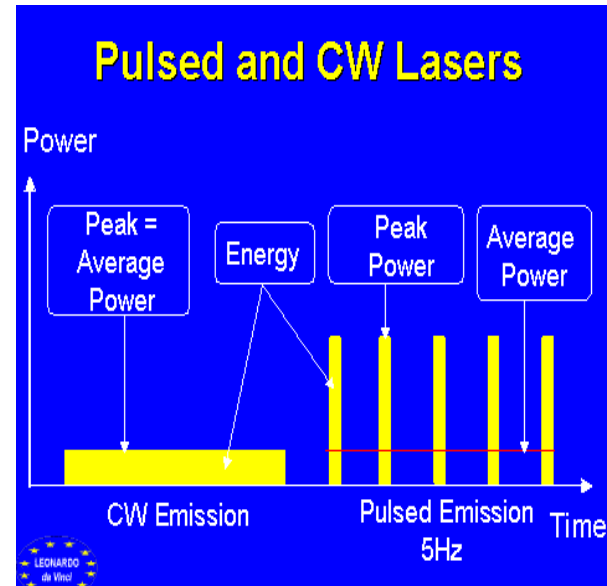


# Λάθος Κατανόηση

Χρησιμοποιώντας λέιζερ συνεχούς κύματος και εφαρμόζοντας πυκνότητες (ροές/fluencies) > από το επίπεδο εκτομής (ablation), ο ιστός θερμαίνεται πάνω από το σημείο βρασμού και εξατμίζεται. Κινώντας την ίνα πάνω από τον ιστό επιτυγχάνεται κοπή / διατομή αυτού.

Χρησιμοποιώντας παλμικό λέιζερ, δημιουργείται φουσαλίδα ατμού μπροστά από την ίνα του λέιζερ με κάθε παλμό. Η φουσαλίδα αυτή μηχανικά διαχωρίζει τους ιστούς.

Παρόλο τον διαφορετικό φυσικό μηχανισμό, και οι δύο τύποι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κοπή και αιμόσταση των ιστών



# Πως λειτουργούν τα Λείζερ;

## Φωτοχημική Επίδραση

(Photochemical effects)

(10sec-1000sec;  $10^{-3}$ -1 W/ cm<sup>2</sup>)

## Φωτοθερμική Επίδραση

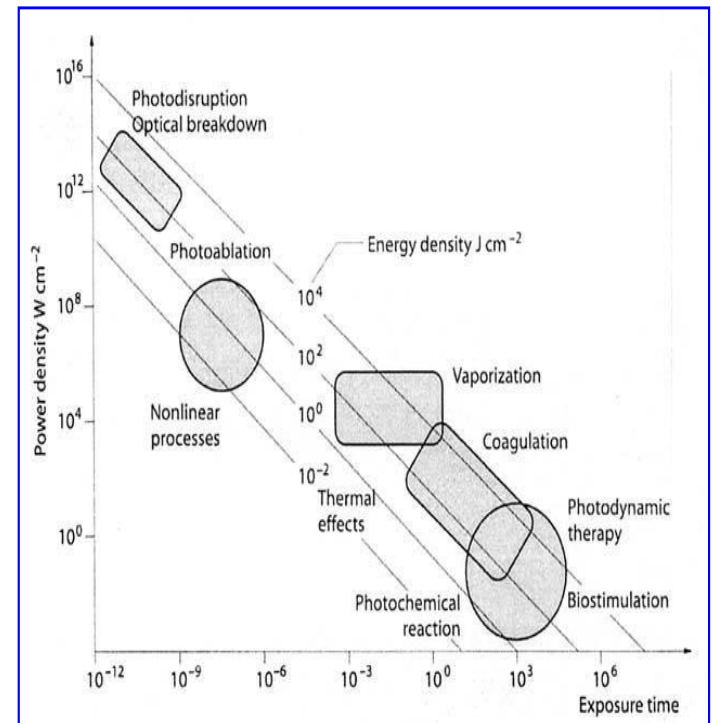
(Photothermal effects)

(1msec-100sec; 1- $10^6$  W/ cm<sup>2</sup>)

## Φωτομηχανική και Φωτοιονίζουσα επίδραση

(Photomechanical and photoionizing effects)

(10psec-100nsec;  $10^8$ - $10^{12}$  W/ cm<sup>2</sup>)

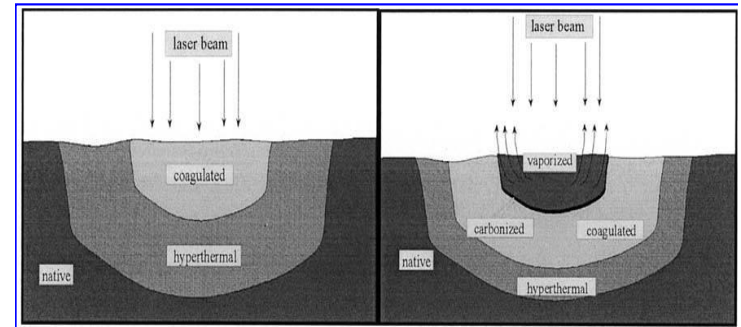


# Φωτοθερμική Επίδραση

- $< 45^{\circ}\text{C}$ : καμμία αλλαγή
- $45^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ : ενζυματικές αλλαγές και οίδημα
- $60^{\circ}\text{C}$ : μετουσίωση πρωτεϊνών = πηκτική νέκρωση
- $90^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ : το κυταρρόπλασμα εξατμίζεται

Με κάθε παλμό του λέιζερ δημιουργείται  
μια φυσαλλίδα ατμού

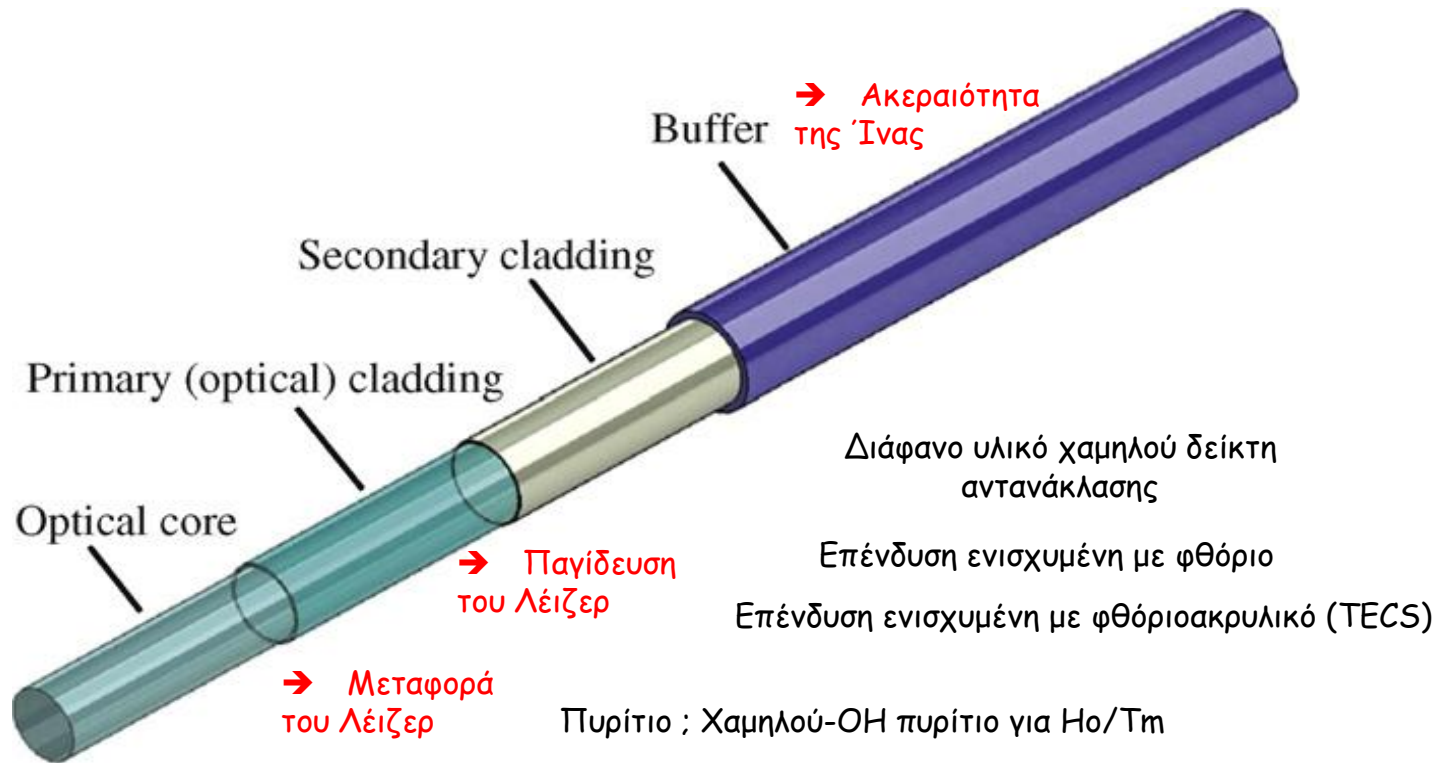
Η πάλλουσα φυσαλλίδα χρησιμοποιείται για  
τον διαχωρισμό των προστατικών λοβών



Η αύξηση της ακτινοβολίας αυξάνει την θερμοκρασία στον ιστό και  
ευνοεί την εξάτμιση και την κοπή του



# Ίνες



Design of a front-firing fiber. LISA laser, Katlenburg, Germany

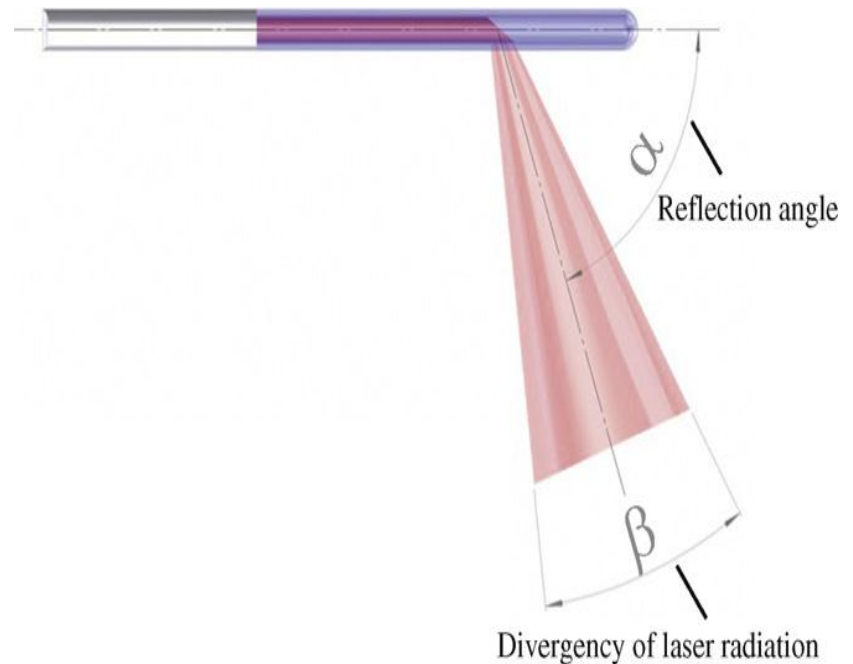


# Ίνες

Αντανάκλαση της δέσμης μέσω διεπαφής του πυρήνα με τον αέρα ή με προσθήκη επιπρόσθετης επικάλυψης για αντανάκλαση (περίπου  $70^\circ$ )

Στρίβοντας την δέσμη και αλλάζοντας την απόσταση της κορυφής της ίνας από την επιφάνεια του ιστού πραγματοποιούμε αιμόσταση και εξάχνωση

Μειονεκτήματα: περιορισμένος χρόνος ζωής εξαιτίας επανθράκωσης



Design of a side-firing fiber. LISA laser, Katlenburg, Germany



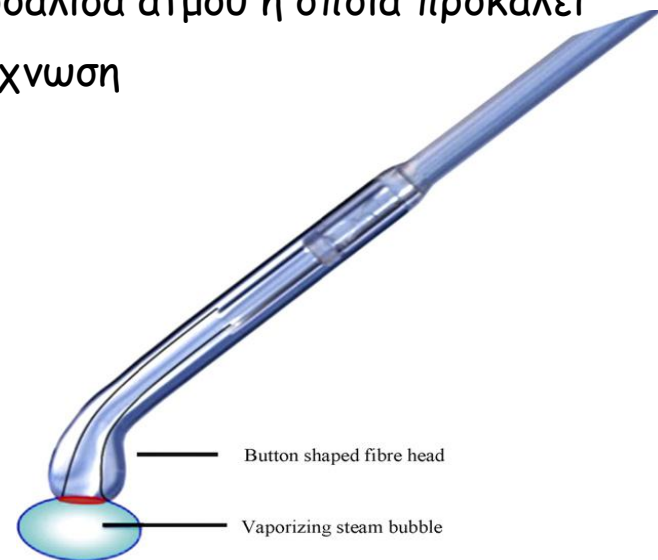


# Ίνες

Αύξηση της διαμέτρου της  
εωτερικής ίνας και εισαγωγή υγρού  
ως μέσο ψύξης (irrigation fluid)  
καθώς και μεταλλική κάλυψη του  
άκρου της ίνας



Εκπομπή στα 980 και 1470nm  
ακτινοβολίας απορροφάται από το  
υγρό έκπλυσης, σχηματίζοντας μια  
φουσαλίδα ατμού η οποία προκαλεί  
εξάχνωση



AMS, USA

Twister fiber with steam bubble and button-shaped head. Biolitec, Jena , Germany



# Ίνες

Χαρακτηριστικό		
Διάμετρος	Διάφορα μεγέθη	Μεγαλύτερες διαμέτροι δημιουργούν πλατύτερες σχισμές εκτομής
Προετοιμασία του σχήματος του άκρου	Κόψιμο και απογύμνωση	Η απογύμνωση της ίνας ελατώνει την αποτελεσματικότητα της εκτομής Κεραμικά vs Μεταλλικά ψαλίδια: καμμία διαφορά
Αποδόμηση	"Burn Back Effect"	<b>Αυξάνεται</b> με: <ul style="list-style-type: none"><li>Υψηλή ενέργεια</li><li>Ίνες μικρότερης διαμέτρου</li><li>Σκληρούς λίθους</li><li>Βραχύ παλμό</li></ul>



# Κλινικές Εφαρμογές στην Ουρολογία

## Λείζερ στην Ουρολογία

Καλοήθης Υπερπλασία του Προστάτη

Λιθίαση Ουροποιητικού

Διατομές (Στενώματα και ΠΟΣ)

Εκτομή (όγκοι, βλεννογόννοι)

Δερματικές αλλοιώσεις (κονδυλώματα)

Επανόρθωση (περιτομή)

Αφαίρεση ξένων σωμάτων (ουρητηρικοί νάρθηκες)

Λαπαροσκοπική χειρουργική (LPN)



# ΚΥΤΠ

## Φυσικές ιδιότητες των Λέιζερ για χρήση στην ΚΥΤΠ

Όνομασία	Ενεργό μέσο	Πηγή διέγερσης	Μήκος κύματος nm	Τρόπος εκπομπής
<b>Στερεά / Κρύσταλλα</b>				
Holmium λέιζερ	Cr <sup>3+</sup> , Tm <sup>3+</sup> , Ho <sup>3+</sup> :YAG	Λυχνία φλάς	2123	Παλμική
KTP/LBO λέιζερ	Nd <sup>3+</sup> :YAG	Λυχνία τόξου	532	Ημι-συνεχής Συνεχής
		Λέιζερ διοδίου		
<b>Thulium λέιζερ</b>	Tm <sup>3+</sup> :YAG	Λέιζερ διοδίου	2013	Συνεχής
<b>Συστήματα λέιζερ Διοδίου</b>				
Diode λέιζερ	Σύστημα Ημιαγωγού	Ηλεκτρικό ρεύμα	940, 980, 1318, 1470	Συνεχής
	GaAlAs (750-870nm) InGaAs (900-1000nm) InGaAsP (1300-1550 nm)			

CR = chromium; Tm = thulium; Ho = holmium; Nd = neodymium; YAG = yttrium-aluminium-garnet; KTP = potassium-titanyl-phosphate; LBO = lithium triborate; GaAlAs = gallium-aluminium-arsenide; InGaAs = indium-gallium-arsenide; InGaAsP = indium-gallium-arsenide-phosphide



# ΚΥΤΤ

Συσκευή Λείζερ	Μήκος κύματος, nm	Βάθος διήθησης στο χρωμοφόρο-στόχο, mm
KTP/LBO	532	0.8
Diode	940,980,1318,1470	0.5-5
Nd:YAG	1064	10
Thulium	1940 (Vela XL) 2013 (Revolix) 2010 (Cyber™)	0.2
Holmium;YAG	2100	0.4

KTP =pottasium-titanyl-phosphate; LBO: lithium triborate; Nd = neodymium; YAG = yttrium-aluminum-garnet



# ΚΥΤΠ

## Λείζερ Προστατεκτομή

Εξάχνωση	Εκτομή	Εκπιρήνιση
PVP	HoLRP	HoLEP
HoLAP	ThuVAP	ThuVEP
ThuVAP	Vaporesction	ThuLEP
Diode laser	Diode laser	GreenLEP
Vaporization	resection	Diode laser enucleation



# ΚΥΤΠ

## Αρχές της Λείζερ Προστατεκτομής και ρυθμίσεις



Diode laser

Laser	Watts	Joule s	Hz	Fiber
HoLEP	60-120	2-2.4	25-50	360-550μm
HoABL	45	1.5	30	
	20	0.5	40	
Tm	50-200	-	-	550μm-800μm
KTP	80,120, 180	-	-	Moxy-Fiber



KTP laser



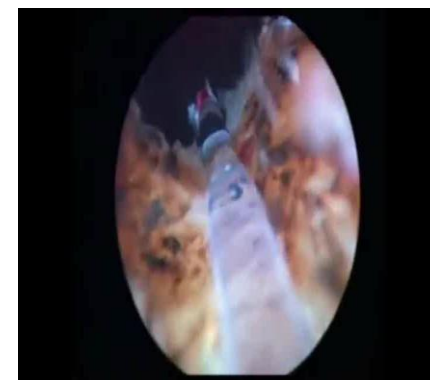
# ΚΥΤΤ

## Αρχές της Λείζερ Προστατεκτομής και ρυθμίσεις

Laser	Watts	Joules	Hz	Fiber
HoLEP	60-120	2-2.4	25-50	360-550μm
HoABL	45	1.5	30	
	20	0.5	40	
Tm	50-200	-	-	550μm- 800μm
KTP	80,120, 180	-	-	Moxy-Fiber



Holmium  
laser



Thulium  
laser





# KYTT

Laser	Laser power	Wall plug Efficiency	Water cooling	Substantial electrical installation	Standard wall mounted power outlet
Nd:YAG		1%	++	++	-
Diode		25%	-	-	+
KTP		<1%	++	++	-
Ho:YAG	60-100W	<1%	++	++	-
Tm	70,90,120,200W	>5%	-	-	++

Wall plug efficiency: How much of the main supply is converted into laser power

1% = 10KW of electrical power are required for the generation of  $\approx$  100W of laser power

*Power Conversion efficiency (PCE) = Useful Optical Output Power  $\div$  (Input Current  $\times$  Voltage Dropped across Device)*



# ΛΙΘΙΑΣΗ



Τύπος Λείζερ	WL	Μηχανισμός	Δράση
Pulsed-dye	540nm	Κρουστικά κύματα	Φωτοακουστική Φωτομηχανική
FREDDY (KTP and Nd:YAG)	532nm 1064nm		
Q-switched YAG			
Alexandrite	755nm		
Ho:YAG	2100μm	Ασθενή κρουστικά κύματα	Ασθενή Φωτοακουστική Φωτομηχανική
Er:YAG	2.90-2.94μm		
Thulium	2μm	Stone "melting"	Φωτοθερμική

Φωτοακουστική: σχηματισμός φουσαλλίδας σπηλαιοποίησης

Φωτοθερμική: επιφάνεια λίθου ΑΛΛΑ θερμική επέκταση του H<sub>2</sub>O μέσα στο λίθο (internal shock waves)



# Λιθίαση - Ρυθμίσεις του Λείζερ

$$W = J \times Hz$$

HiPE (J) - LoFr (Hz)

6x more  
ablative

LoPE (J) - HiFr (Hz)

Sort pulse More Ablative to  
Long pulse

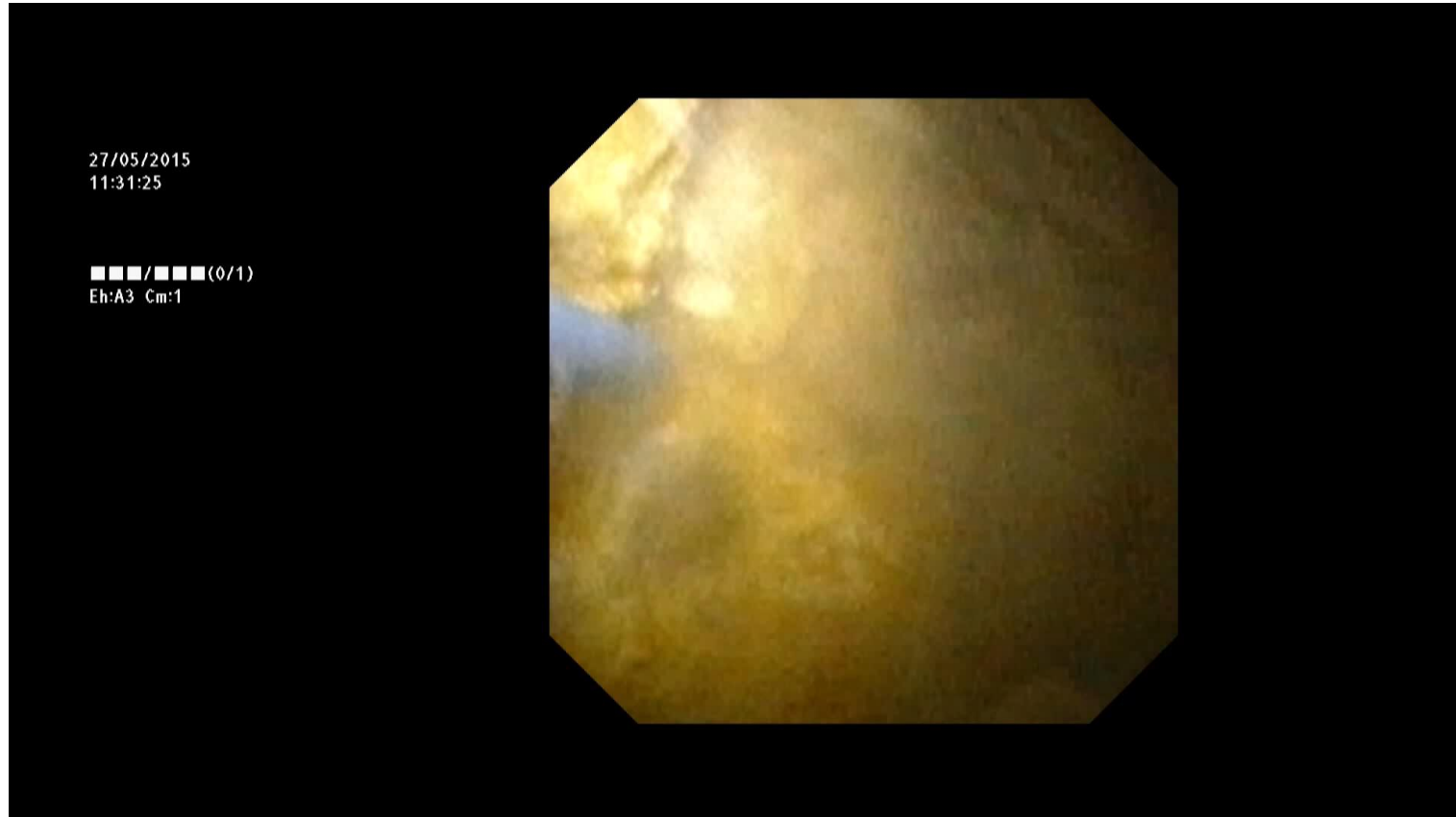
Short pulse: photo mechanical effect  
(cavitation bubble)

Long pulse: photo  
thermal effect

Changeable parameters						Parameter-dependable variables				
Defined by user					Defined by nature					
Lithotripter settings				Fiber diameter	Stone type	Effects on calculi		Effects on instruments		
Power (W)	Pulse energy (J)	Pulse frequency (Hz)	Pulse mode			Ablation volume	Retropulsion	Fiber tip degradation	Scope deflection	Irrigation
↑	↑	-	-	-	-	↑	↑	↑	n/a	n/a
↓	↓	-	-	-	-	↓	↓	↓	n/a	n/a
↑	-	↑	-	-	-	↑	=/↑	↑	n/a	n/a
↓	-	↓	-	-	-	↓	=/↑	↓	n/a	n/a
= <sup>†</sup>	↑	↓	-	-	-	↑	↑	↑	n/a	n/a
= <sup>†</sup>	↓	↑	-	-	-	↓	↓	↓	n/a	n/a
-	-	-	Short-pulse	-	-	↑	↑	↑	n/a	n/a
-	-	-	Long-pulse	-	-	↓	↓	↓	n/a	n/a
-	-	-	-	↑	-	= <sup>‡</sup>	↑	↓	↓	↓
-	-	-	-	↓	-	=	↓	↑	↑	↑
-	-	-	-	-	Hard stone	↓	N/K*	↑	n/a	n/a
-	-	-	-	-	Soft stone	↑	N/K*	↓	n/a	n/a



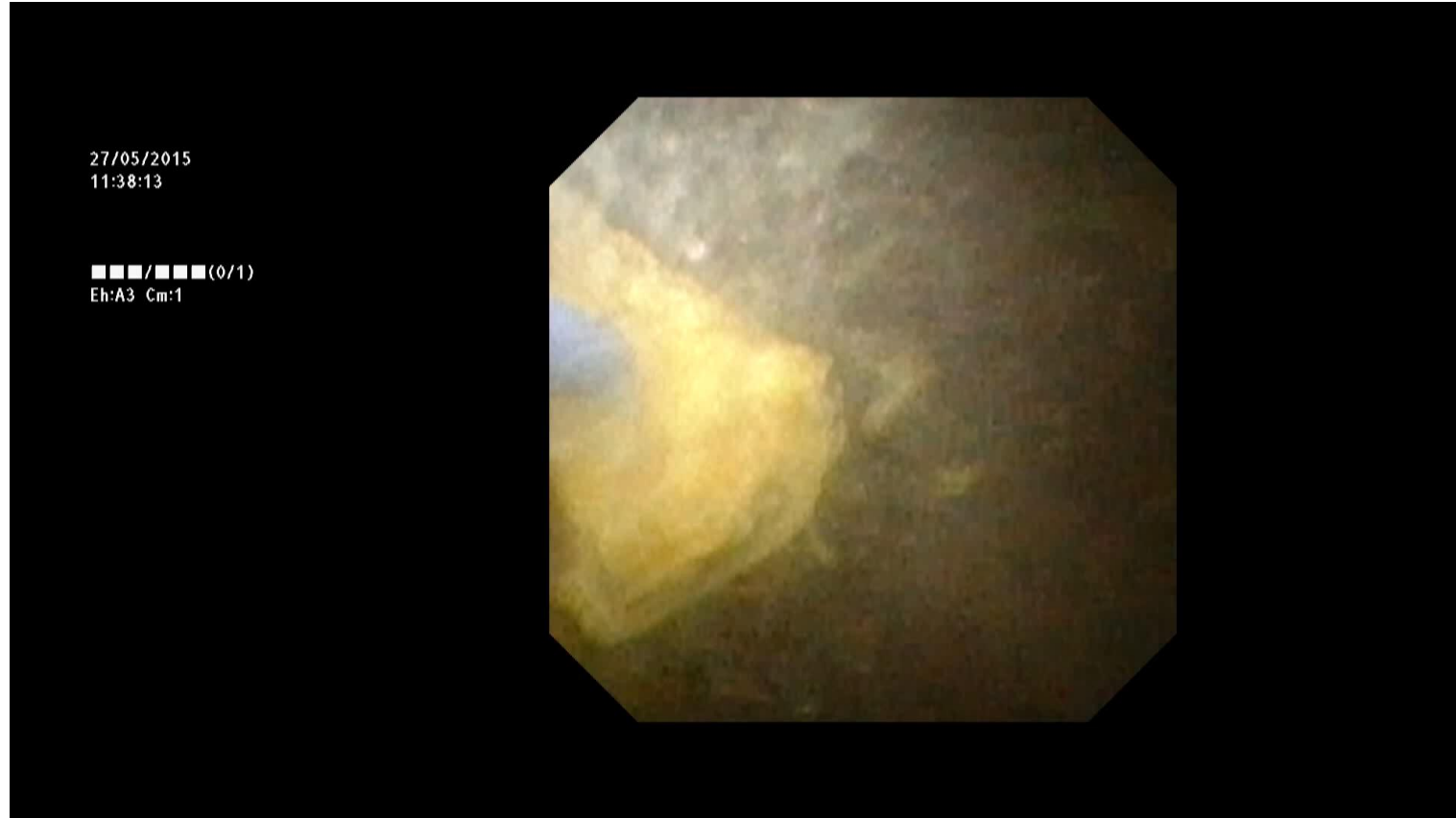
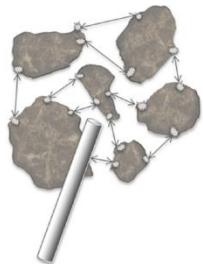
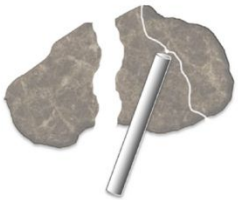
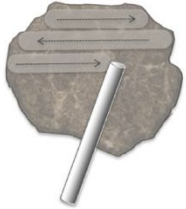
# Μέθοδοι Θρυμματισμού: Κονιορτοποίηση (Dusting)



- Η ίνα του λέιζερ παραμένει σε συνεχή κίνηση
- 0,3-0,7 J and 20 to 50 Hz (15Watts)
- Long pulse duration

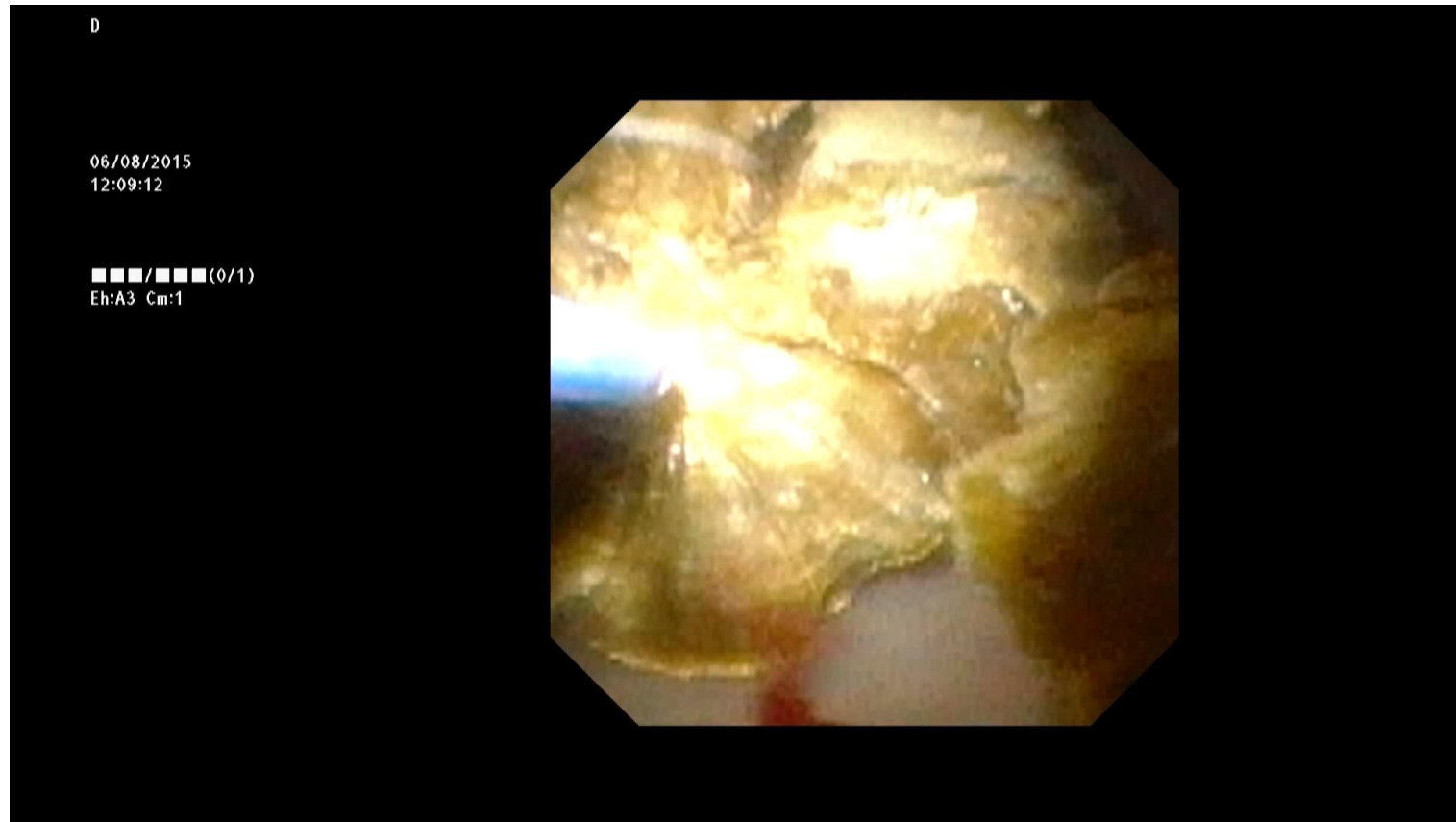
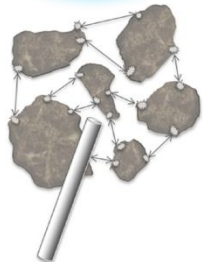
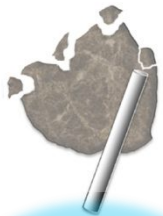
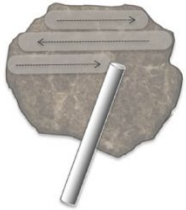


# Μέθοδοι Θρυμματισμού: Αποκοπή (Chipping)



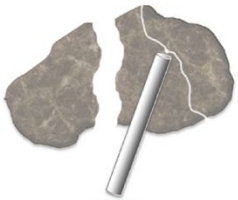
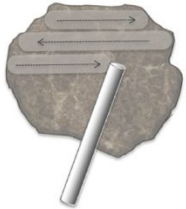
- Η ίνα του λέιζερ κατευθύνεται στην περιφέρεια του λίθου
- 0,3-0,7 J and 20 to 50 Hz (15Watts)

# Μεθοδοι Θρυμματισμού: Κατακερματισμός (Fragmenting)



- Συνιστάται για σκληρούς λίθους:
- Η Ίνα του λέιζερ στοχεύει στο κέντρο του λίθου
- 1 to 1,5 J and 10 to 15 Hz (15Watts)

# Μέθοδοι Θρυμματισμού: Pop-Corn



27/05/2015  
11:44:23

■■■/■■■(0/1)  
Eh:A3 Cm:1



- Shockwaves, collision between fragments
- 1 joule, 15Hz
- 1 joule 20Hz

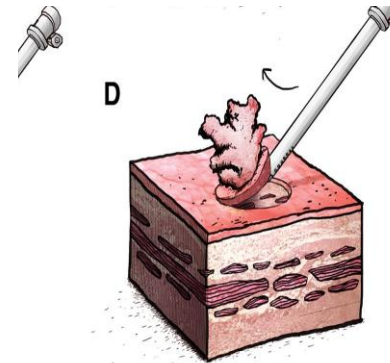
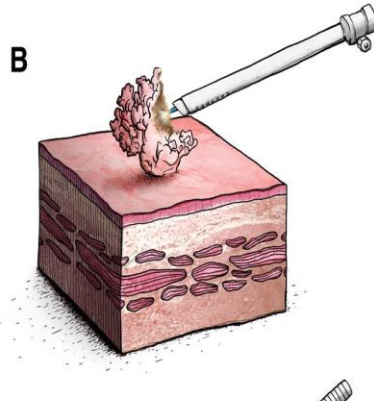
# Μέγεθος Θραύσματος και Ρυθμίσεις του Λείζερ

- Το μέγεθος του Θραύσματος σχετίζεται λιγότερο με τις ρυθμίσεις του λείζερ και περισσότερο με την εγχειρητική τεχνική π.χ. πως ο χειρουργός προσεγγίζει το λίθο με το λείζερ, και εάν ο λίθος διατρυπάτε συνεχόμενα, αποκόπτεται ή κατακερματίζεται σε σύγκριση με το εάν δουλεύεται στην επιφάνεια του «χορεύοντας» τον ή «ζωγραφίζοντας» τον με την ίνα





# TCC



- Εξάχνωση του όγκου:
- Ho:YAG
- $1\text{J} \times 10\text{Hz} = 10\text{W}$
- $0.6\text{J} (0.5-1.0\text{J}) \times 10\text{Hz} = 5.9\text{W} (4-7.2\text{W})$
- $0.6-0.8\text{J} \times 10-15\text{Hz}$
- 365-200 $\mu\text{m}$  fiber

- En block εκτομή:
- Holmium
- $1.0-2.0\text{J} \times 15-30\text{Hz} = 20-40\text{W}$
- $1.0-2.0\text{J} \times 10-12\text{Hz} = 10-22\text{W}$
- Tm
- 5-15W ; 30-50W; 550 $\mu\text{m}$  fiber

