



Εφαρμογές lasers στη Χειρουργική Στόματος

Ουρανία Σχοινοχωρίτη

Στοματικός και Γναθοπροσωπικός Χειρουργός

Επιστημονικός Συνεργάτης Κλινικής ΣΓΠΧ

Οδοντιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ

laser = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή
ακτινοβολίας

Οι συσκευές laser παράγουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (ΗΜΑ) μέσω οπτικής ενίσχυσης ('optical amplification') φωτεινής δέσμης, παραγόμενης με εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων μέσα σε κατάλληλο υλικό, το ενεργό μέσο ('gain medium')

Ο όρος «φως» χρησιμοποιείται με την ευρύτερη έννοια της ΗΜΑ, ανεξαρτήτως συχνότητας ή μήκους κύματος, χωρίς ειδική αναφορά στο ορατό τμήμα του φάσματος

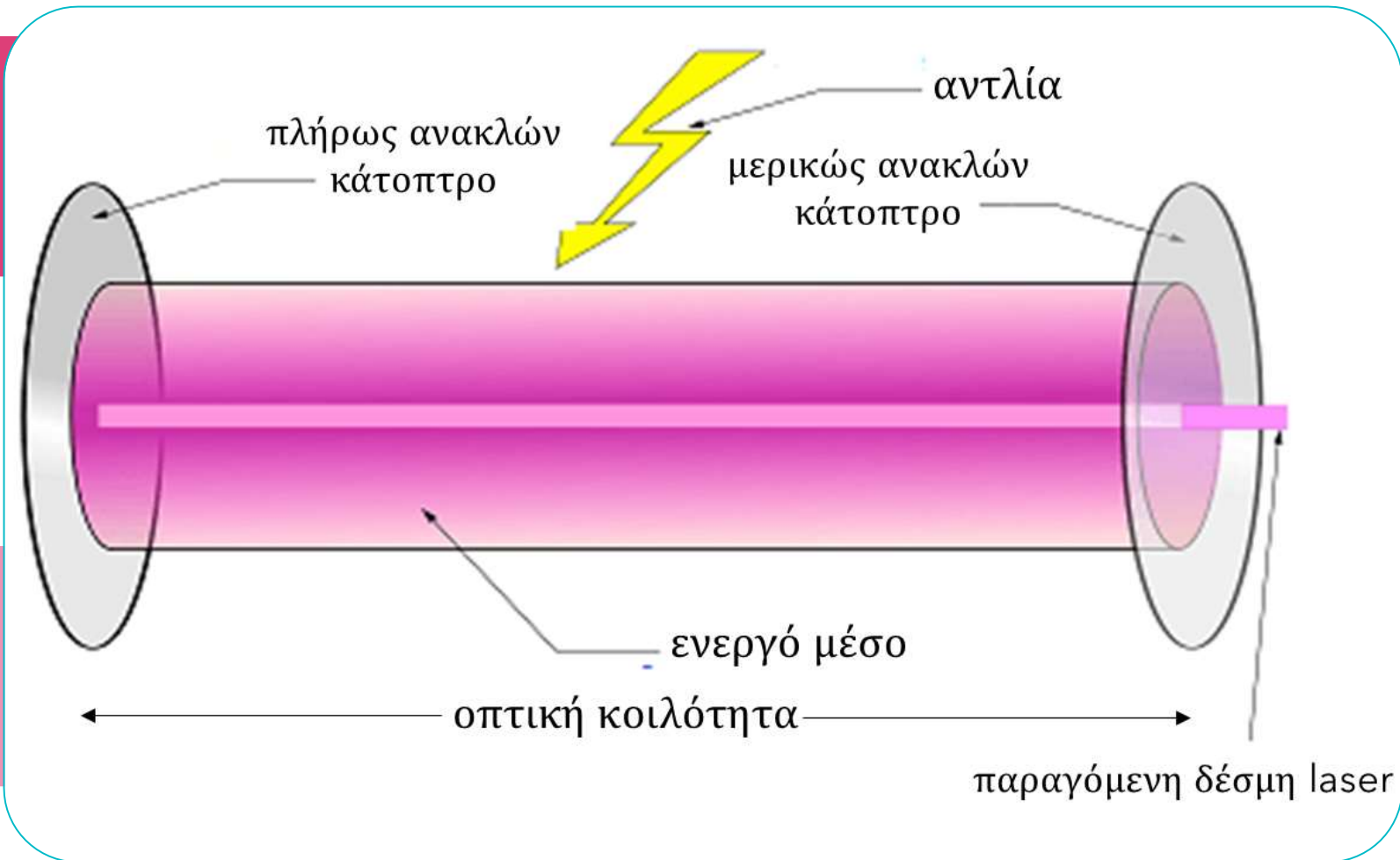
Συσκευές παραγωγής laser

Βασικές αρχές παραγωγής, μεταφοράς και τρόπου εφαρμογής παραγόμενης δέσμης – κοινές σε όλους τους τύπους lasers

αντλία
(πηγή άντλησης)

ενεργό μέσο

οπτικό αντηχείο
(οπτική κοιλότητα)



Παραγωγή Laser

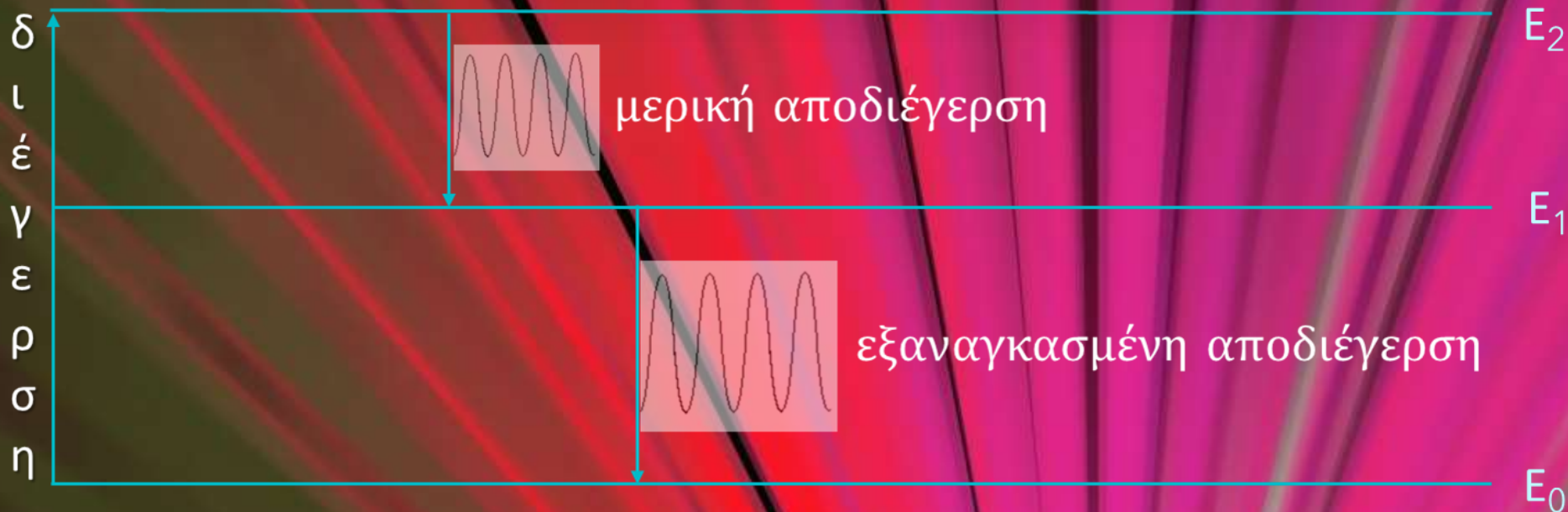
αρχικά άτομα/μόρια ενεργού μέσου σε θεμελιώδη κατάσταση (E_0)

↓ άντληση (διέγερση)

άτομα/μόρια σε διεγερμένη κατάσταση (E_2)

↓ μετά από 10^{-8} sec

άτομα/μόρια σε χαμηλότερου ενεργειακού επιπέδου μετασταθερή κατάσταση (E_1)



εξαναγκασμένη αποδιέγερση & εκπομπή φωτός συγχρόνως από πολλά άτομα/μόρια

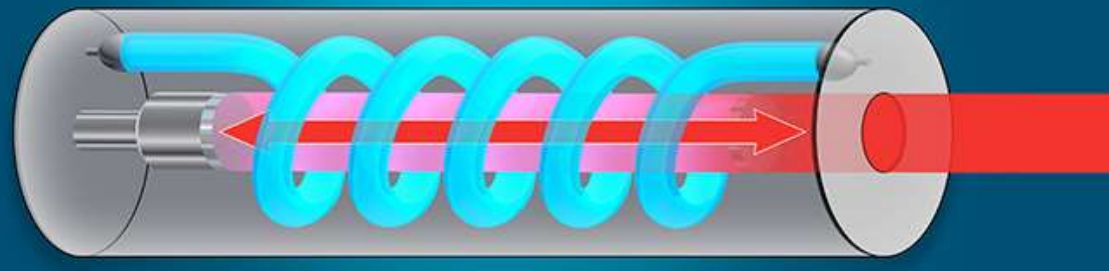
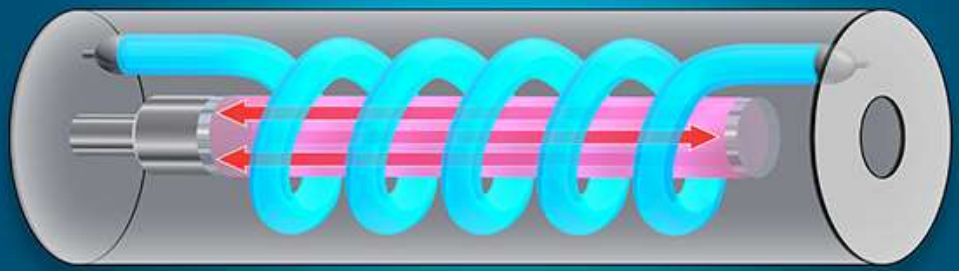
Παραγωγή Laser

Μετά την αναστροφή πλεθυσμών μικρό ποσοστό ατόμων/μορίων μεταπηδούν αυθόρμητα από μετασταθερή σε θεμελιώδη κατάσταση εντός 10^{-3} sec, προκαλώντας εξαναγκασμένη αποδιέγερση άλλων

Κάθε αυθόρμητα εκπέμπόμενο φωτόνιο προκαλεί εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίου από άλλο άτομο/μόριο

2 φωτόνια προκαλούν εκπομπή επιπλέον 2 κ.ο.κ., μέχρι πλήρη αποδιέγερση, δηλ. επαναφορά στην θεμελιώδη κατάσταση → ενίσχυση ('amplification') φωτεινής δέσμης





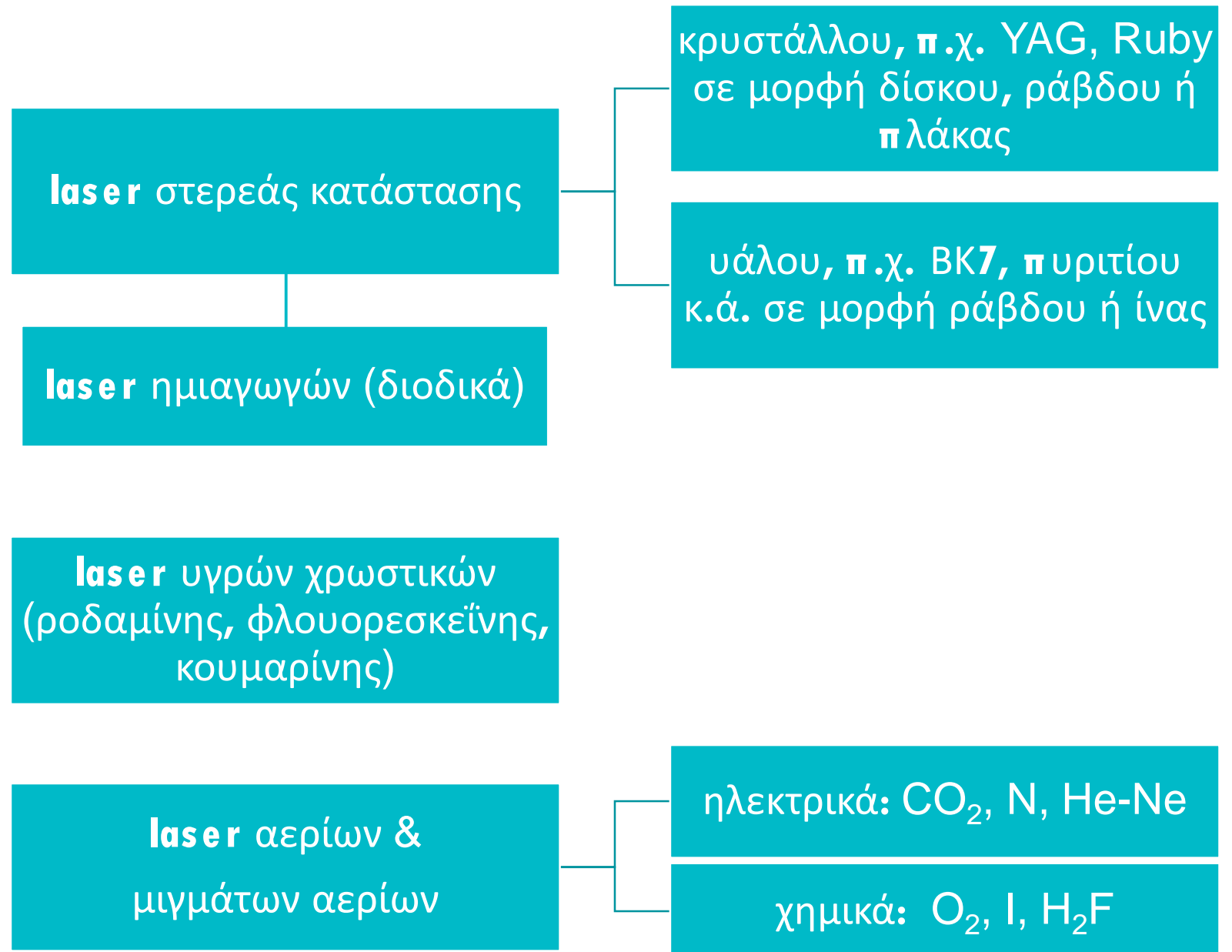
Ενεργό μέσο

υλικό με κατάλληλες ιδιότητες

(φάση, καθαρότητα, συγκέντρωση, μέγεθος / σχήμα δομικών μονάδων)

ατομική / μοριακή / ιοντική δομή + ενεργειακό επίπεδο ενεργού μέσου
καθορίζουν τρόπο άντλησης, μήκος κύματος και τρόπο μεταφοράς
παραγόμενης δέσμης

Τύποι **lasers** ανάλογα με ενεργό μέσο



Τύπος laser / ενεργού μέσου	Μήκος κύματος	Πηγή άντλησης	Κύριες εφαρμογές
<i>laser He-Ne</i>	543nm-3.4μm	H.E.	Συμβολομετρία, ολογραφία, φασματοσκοπία, barcode, οπτικά εφέ, φωτοθεραπεία διαβητικής αμφιβληστροειδοπάθειας, λιθογραφία, φασματοσκοπία, άντληση άλλων lasers
<i>laser Ar</i>	244-528nm	H.E.	
<i>laser Kr</i>	416-799nm	H.E.	Έρευνα, οπτικά εφέ
<i>laser CO₂</i>	10.6μm ή 9.4μm		Επεξεργασία υλικών (κοπή, συγκόλληση), Χειρουργική
<i>laser excimer</i>	193nm (ArF), 248nm (KrF), 308nm (XeCl), 353nm (XeF)	H.E.	Χειρουργική, LASIK
<i>laser CO</i>	2.6-4, 4.8-8.3μm	H.E.	Επεξεργασία υλικών (χάραξη, συγκόλληση), φασματοσκοπία
<i>χρωστικά lasers (dye lasers)</i>	390-435nm (στιλβένη) 460-515nm(κουμαρίνη) 570-640nm (ροδαμίνη)	άλλα lasers, φωτοβολταϊκά	Έρευνα, ιατρικές εφαρμογές, αφαίρεση σπύλων, διαχωρισμός ισοτόπων
<i>laser ατμών Cu</i>	510, 578nm	H.E.	Δερματολογία, φωτογραφία, άντληση dye lasers
<i>laser ατμών Au</i>	627nm	H.E.	Δερματολογία, φωτοδυναμική θεραπεία
<i>laser ρουμπινίου</i>	694.3nm	φωτοβολταϊκά	Αφαίρεση δερματοστιξίας
<i>laser Nd:YAG</i>	1.064, 1.32μm	φωτοβολταϊκά	Επεξεργασία υλικών, έρευνα, χειρουργική, άντληση lasers
<i>laser Er:YAG</i>	2.94μm	φωτοβολταϊκά	Οδοντιατρική
<i>laser Ho:YAG</i>	2.1μm	διοδικό laser	Χειρουργική, αφαίρεση λίθων, Οδοντιατρική
<i>διοδικά lasers (AlGaInP/AlGaAs)</i>	0.63-0.9μm	διοδικό laser	H.E. Οπτικοί δίσκοι, δείκτες, μεταφορά δεδομένων, CD players, άντληση lasers, Χειρουργική

Αντιπροσωπευτικοί τύποι lasers

Φυσικές ιδιότητες **laser**

Μονοχρωματικότητα: ελάχιστη (μικρού εύρους) ή καθόλου διακύμανση συχνότητας / μήκους κύματος – καθορίζει εκλεκτική απορρόφηση από ιστικά χρωμοφόρα και νερό

Συμφωνία φάσης: ίδιο μήκος κύματος και διεύθυνση διάδοσης - σταθερή διαφορά φάσης, καθώς το εκπεμπόμενο φωτόνιο έχει ίδιο μήκος κύματος και διεύθυνση με το διεγείρον

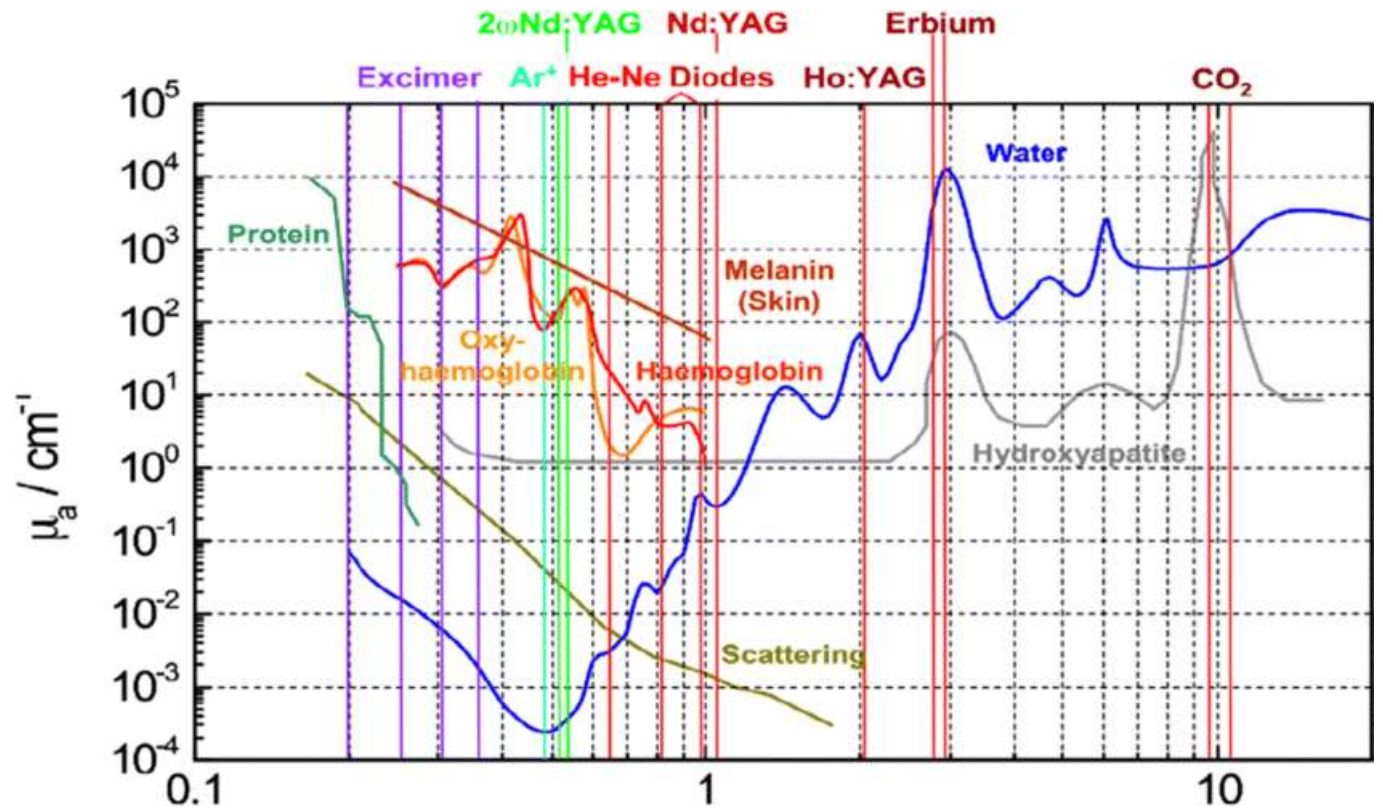
Κατευθυντικότητα: η δέσμη μπορεί να εστιασθεί σε ελάχιστο σημείο και να μεταφερθεί με οπτικές ίνες σε μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστη απόκλιση – ακριβής ιστική διατομή

Υψηλή φωτεινή ένταση ή φωτοβολία ή πυκνότητα ισχύος: αποδιδόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφανείας ανά μονάδα στερεής γωνίας – μονάδα μέτρησης η candela

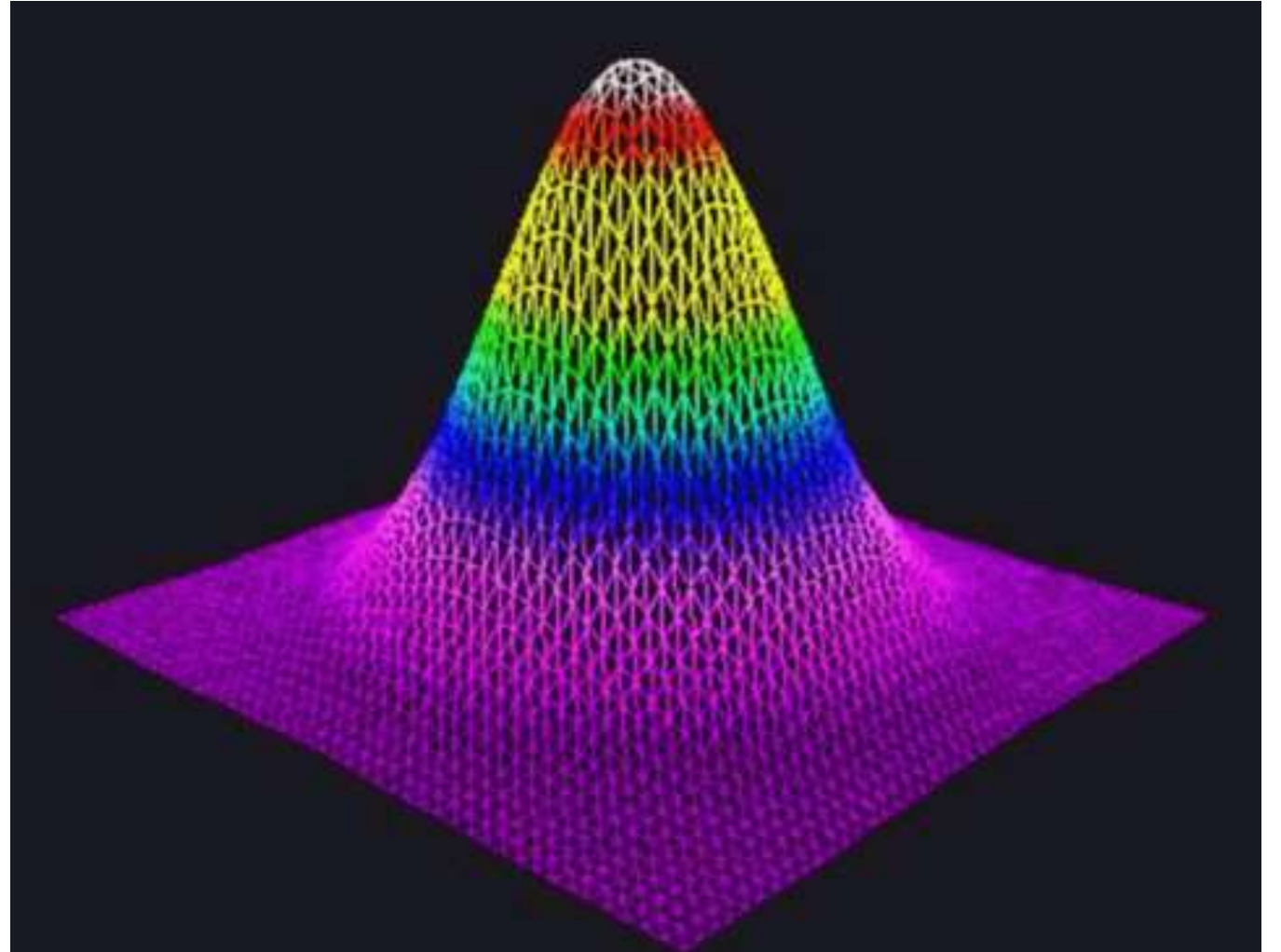
Εγκάρσια διατομή δέσμης: η φωτεινή ένταση είναι μέγιστη στο κέντρο της δέσμης και ελαττώνεται συμμετρικά προς την περιφέρεια

Μήκος κύματος **laser**

- ✓ εξαρτάται από ενεργό υλικό
- ✓ καθορίζει εκλεκτική απορρόφηση από νερό και ιστικά χρωμοφόρα (αιμοσφαιρίνη, μελανίνη)



Εγκάρσια διατομή δέσμης **laser**



Συστήματα μεταφοράς δέσμης **laser** σε ιστούς

Αρθρωτοί βραχίονες: εστίαση δέσμης μέσω κατάλληλης χειρολαβής ή μικροχειριστηρίου ως φωτεινό σημείο μικρής διαμέτρου, χωρίς επαφή με ιστούς – ‘non-contact laser’

Εύκαμπτες οπτικές ίνες: προσφέρονται για μήκη κύματος μέχρι εγγύς υπέρυθρο / χαμηλού κόστους και ευέλικτες / επιτρέπουν απευθείας εστίαση δέσμης στην ιστική επιφάνεια – ‘contact laser’

Ημιάκαμπτοι οδηγοί: εξέλιξη αρθρωτών βραχιόνων για μήκη κύματος 2100-10600nm

Σταθερά συστήματα μεταφοράς δέσμης: οφθαλμολογικές εφαρμογές lasers

Κυματομορφές **laser**

Συνεχής κυματομορφή ('continuous mode / wave') = ισχύς παραγωγής σταθερή σε χρόνο, π.χ. Ar, Kr

Παλμική κυματομορφή ('pulsed mode') = απόδοση ισχύος υπό μορφή παλμών συγκεκριμένης διάρκειας (0,1-0,8 msec) και συχνότητας – εφαρμογές στη Χειρουργική (εξάχνωση ιστών)

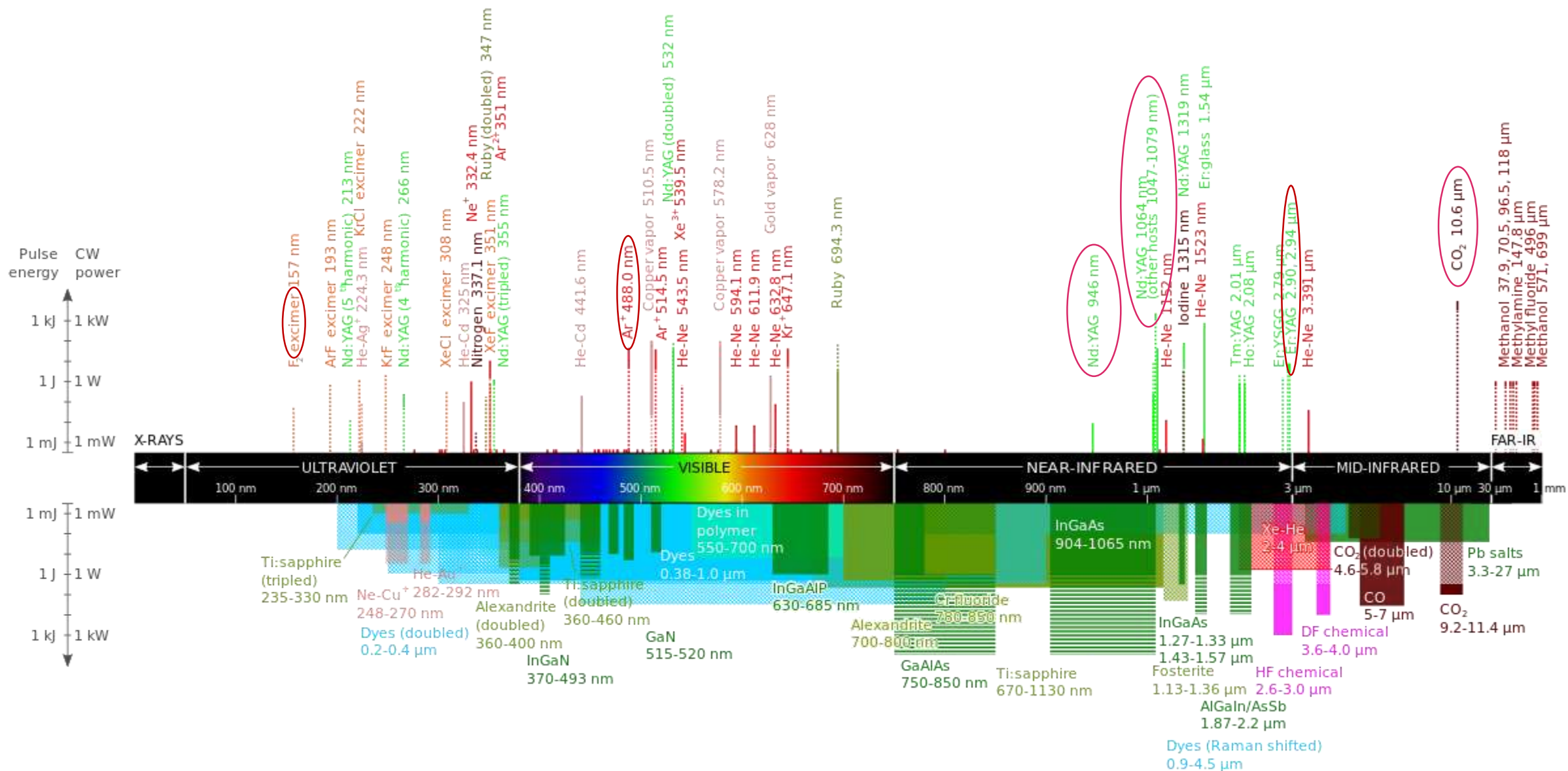
⑩ υψηλής διάρκειας παλμού, π.χ. lasers χρωστικών

⑩ χαμηλής διάρκειας παλμού, π.χ. Nd:YAG

Μεταστροφή Q ('Q switching') ή «δημιουργία γιγάντιου παλμού» = παραγωγή παλμών lasers με αιχμές ισχύος πολύ υψηλότερες (από αρκετά kW έως μερικά GW) της μέγιστης ισχύος τυπικών lasers συνεχούς κυματομορφής και διάρκειας nanosec, προς αποφυγή υπερβολικής θερμότητας

Λειτουργία 'modelocking' = παραγωγή παλμών εξαιρετικά βραχείας διάρκειας (pico- έως femto- sec) – εφαρμογές στη Διαθλαστική Χειρουργική 'IntraLASIK'

Παλμική άντληση: όπου απαιτείται διακεκομμένη παραγωγή δέσμης λόγω «εξάντλησης» ενεργού μέσου, π.χ. excimer, laser ατμών Cu



Χειρουργικές και επεμβατικές εφαρμογές **lasers**

1

Χειρουργικά ή lasers υψηλής ισχύος
(high level laser treatment, HLLT)

2

Μη χειρουργικά ή lasers χαμηλής ισχύος
(low level laser treatment, LLLT)

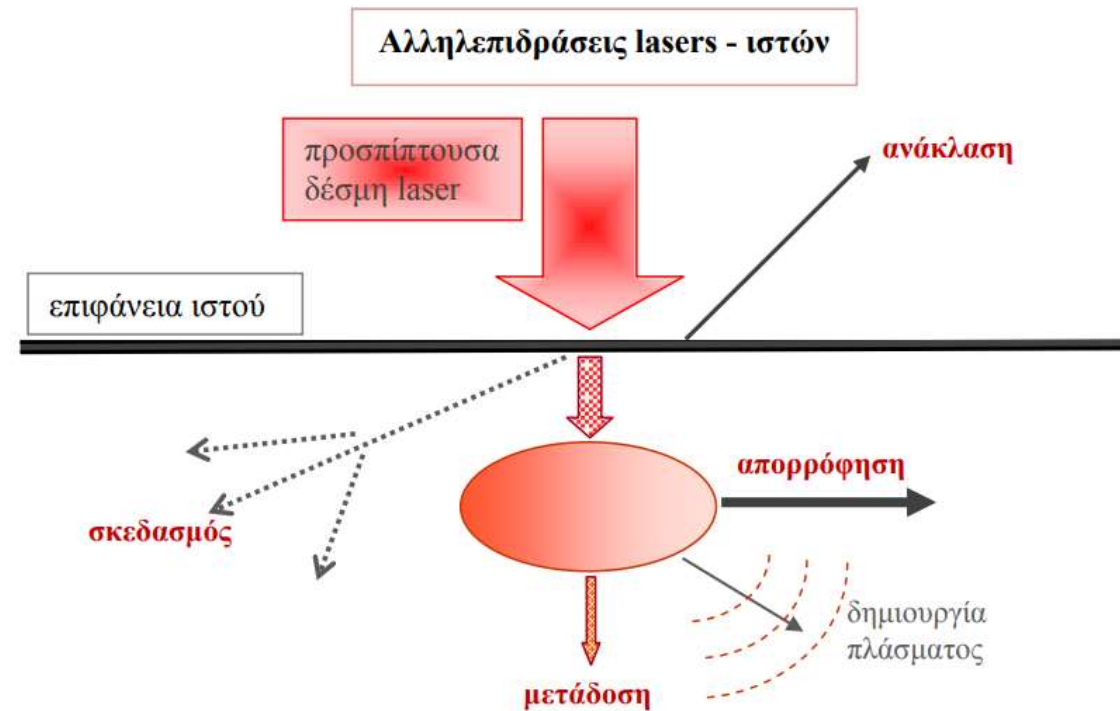
Σημαντικότερες εφαρμογές **lasers** στη Χειρουργική Στόματος

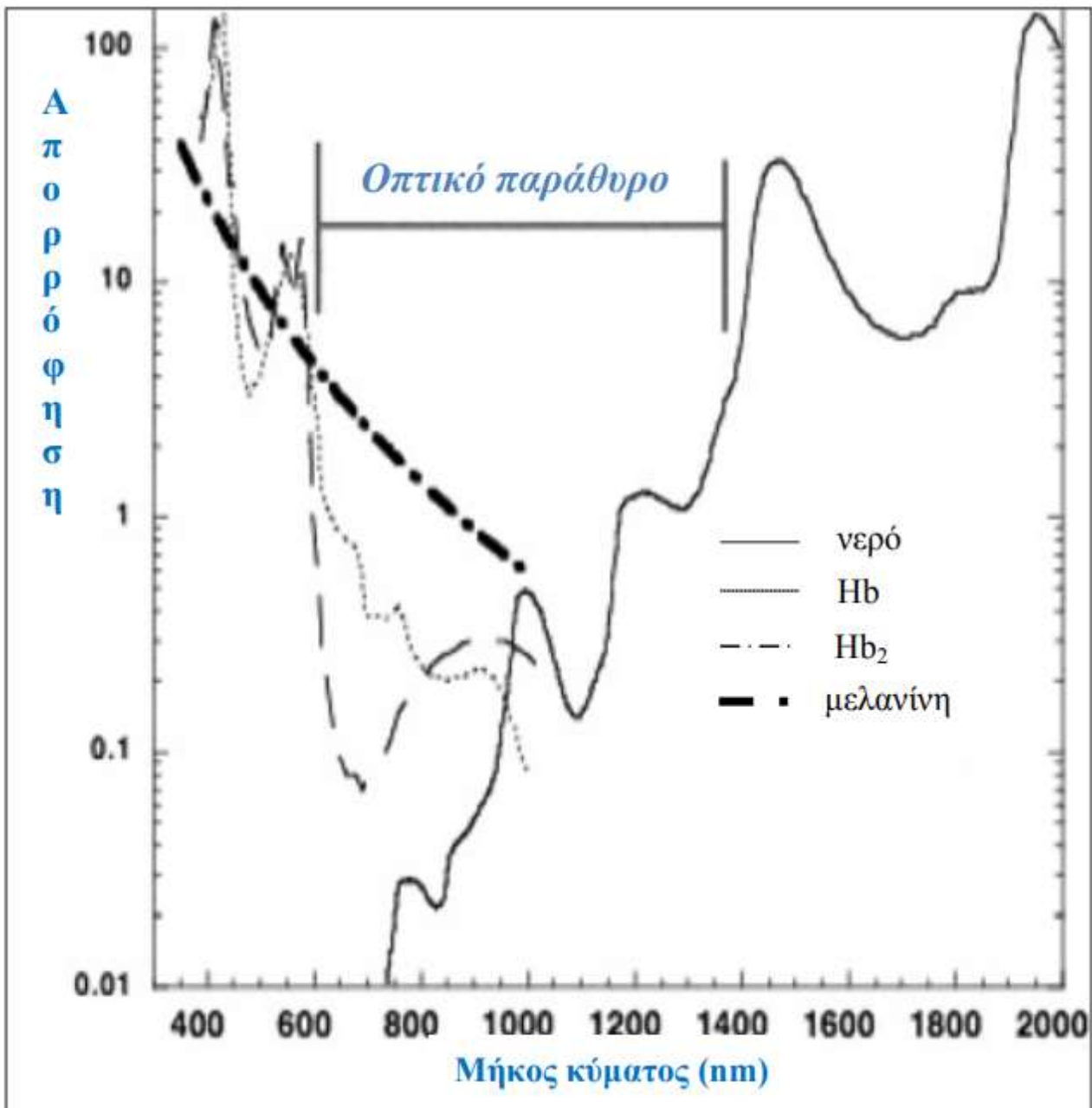
Τύπος laser	Μήκος κύματος	Κυματομορφή
CO ₂	10,6 ή 9,3 μm	διακεκομμένη ή CW
Nd:YAG / KTP	1064 μm	παλμική
Διοδικό	800-980 nm	παλμική ή CW
Ho:YAG	2,1 μm	παλμική
Argon	457-502 nm	παλμική ή CW
Er:YAG	2,94 μm	παλμική
Er,Cr:YSGG	2,78 μm	παλμική Χειρουργική οστού

Εφαρμογές σχετικές με εκτομή / διατομή μαλακών ιστών από χειρουργική περιοδοντίου και προπρωσθητική χειρουργική μέχρι εκτομή αγγειακών βλαβών

Αλληλεπιδράσεις **Lasers** - ιστών

- ✓ **Ανάκλαση (reflection)** = μεταβολή διεύθυνσης/φοράς χωρίς ↓ συνολικής ενέργειας ή ιστική τροποποίηση
- ✓ **Μετάδοση (transmission)** = διείσδυση σε ιστούς σε άλλοτε άλλο βάθος
- ✓ **Σκεδασμός ή σκέδαση (scattering)** = διάχυση σε ιστούς με ταυτόχρονη ↓ ενέργειας δέσμης
- ✓ **Απορρόφηση (transmission)** = ισοδυναμεί με μετατροπή μέρους της ενέργειας δέσμης σε θερμότητα





Δέση ορισμένου μήκους κύματος αλληλεπιδρά διαφορετικά με διαφορετικούς τύπους ιστών λόγω διαφορετικής πυκνότητας σε ιστικά χρωμόφωρα

Για επίτευξη συγκεκριμένου αποτελέσματος σε ιστό-στόχο απαιτείται χρήση laser με μήκος κύματος ισχυρά απορροφώμενο από το κυρίαρχο χρωμόφωρο του ιστού
 π.χ. το laser CO₂ απορροφάται κατ'εξοχήν από το νερό

Βιολογικές επιδράσεις **lasers**

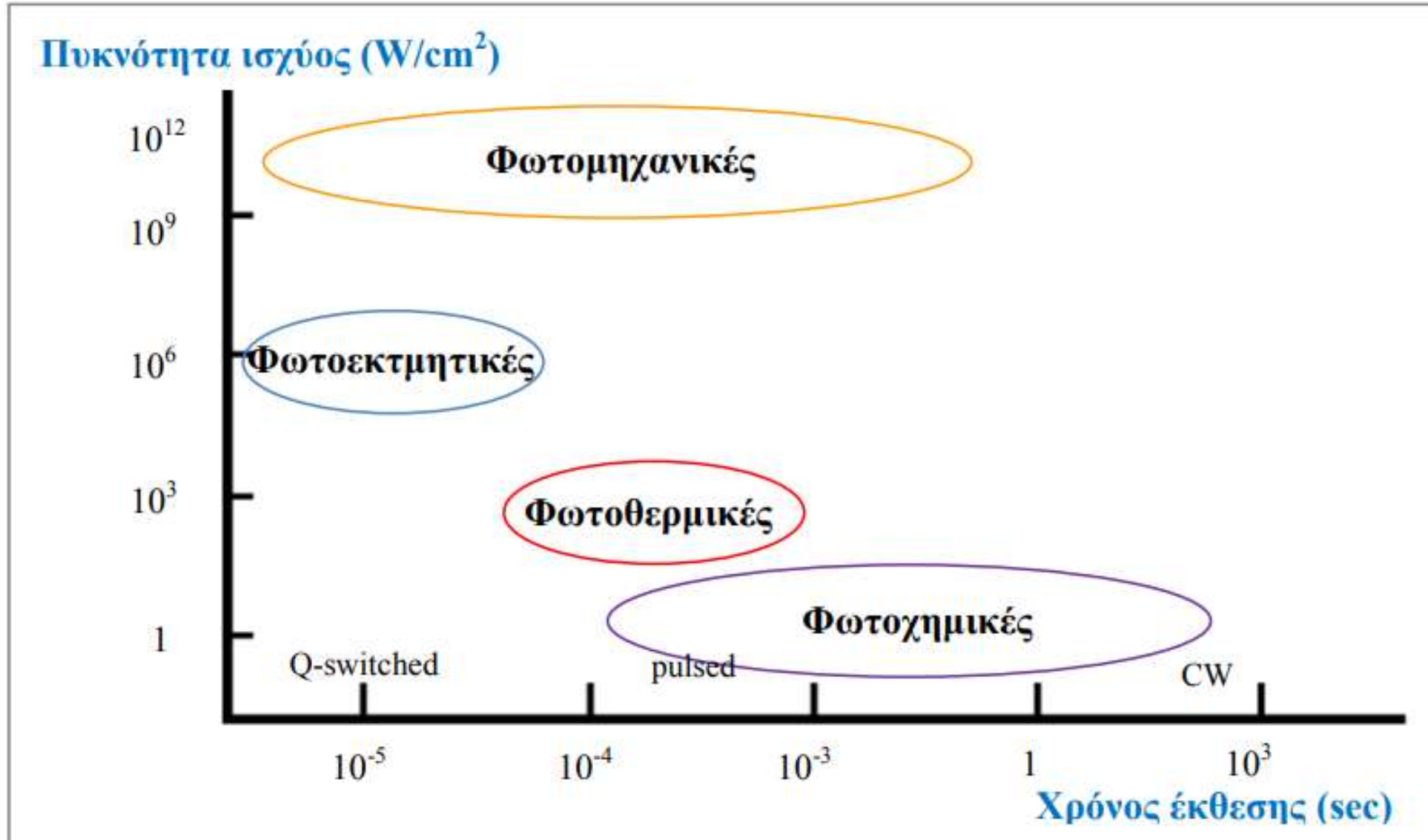
Φωτοθερμικές

Φωτοχημικές

Φωτομηχανικές

Φωτοεκτμητικές

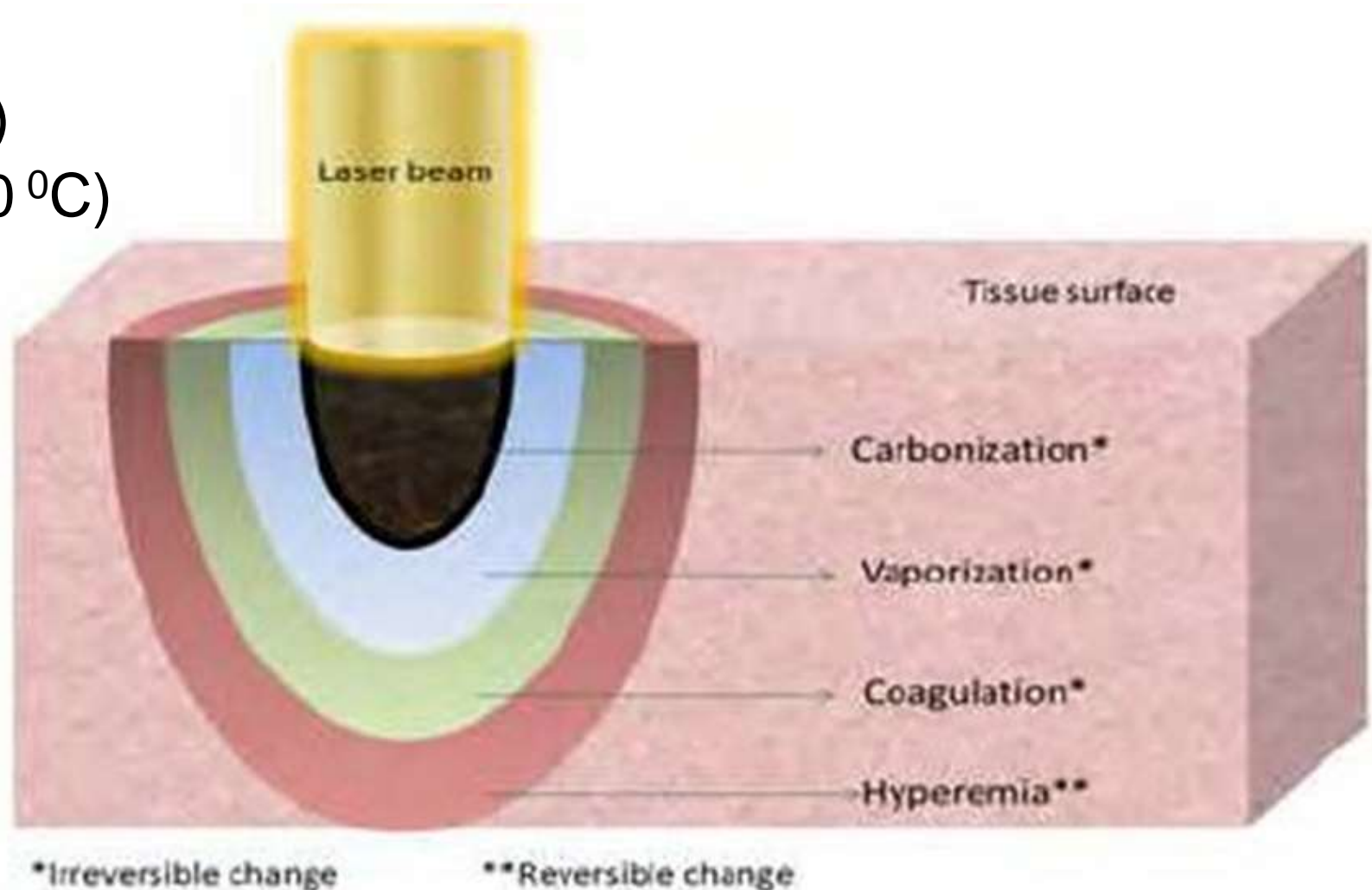
Βιολογικές επιδράσεις **lasers**



Φωτοθερμικές επιδράσεις

Ανάλογα με αναπτυσσόμενη μέγιστη θερμοκρασία και χρόνο διατήρησής της εντός ιστών

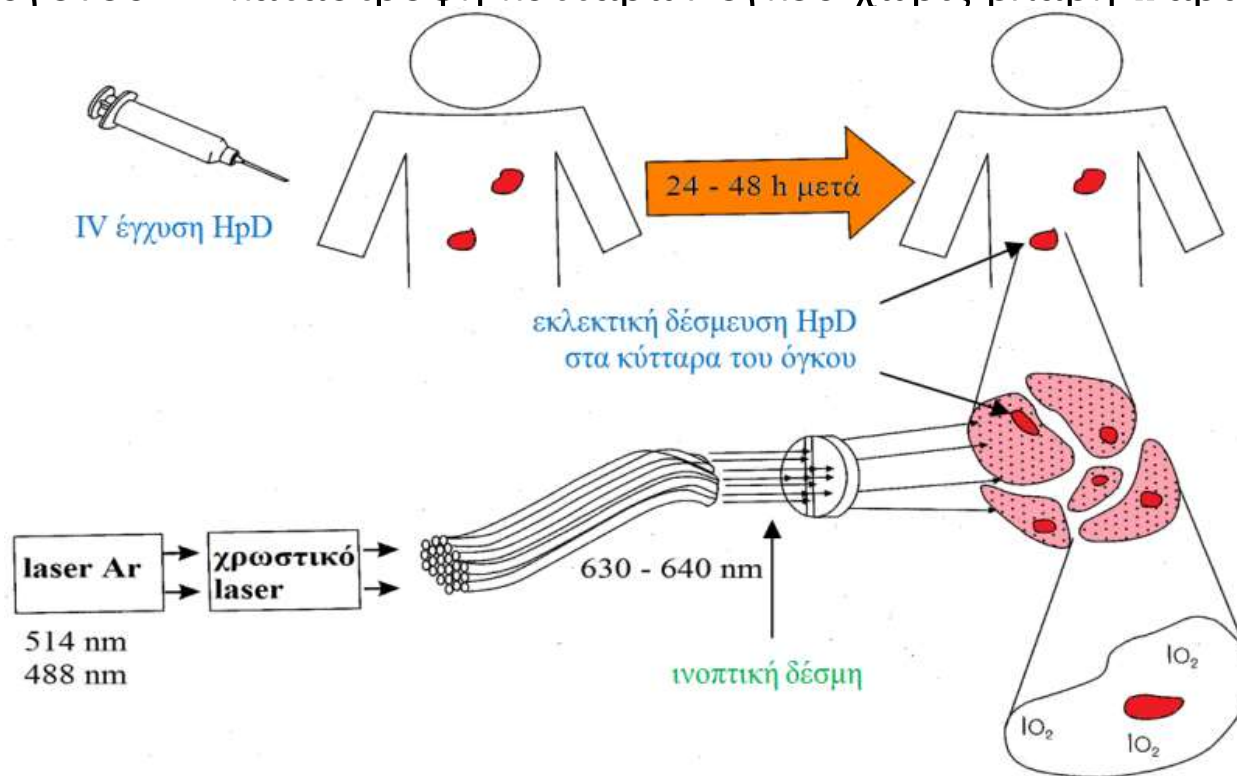
- ✓ υπερθερμία (42-50 °C)
- ✓ (δια)θερμοπηξία (>60 °C)
- ✓ εξάτμιση (εξάχνωση) (100 °C)
- ✓ απανθράκωση (>100 °C)
- ✓ τήξη (>300 °C)



Φωτοχημικές επιδράσεις

Βραχεία έκθεση ιστών σε χαμηλής ισχύος laser αποτελεί έναυσμα ιστικών χημικών αντιδράσεων χωρίς αξιοσημείωτες φωτοθερμικές ή φωτομηχανικές επιδράσεις

- ✓ Φωτοδυναμική θεραπεία (photodynamic therapy): IV έγχυση παραγώγου αιμοπρφυρίνης (HpD), που κατακρατείται εκλεκτικά από κύτταρα όγκου → 24-48 h μετά ακολουθεί έκθεση σε laser ορισμένου μήκους κύματος → απελευθέρωση ριζών οξυγόνου → καταστροφή κυττάρων όγκου χωρίς βλάβη παρακειμένων ιστών



- ✓ Βιοδιέγερση (biostimulation): εφαρμογή laser εξαιρετικά χαμηλής ισχύος για επιτάχυνση / ευόδωση επώλωσης μαλθακών και σκληρών ιστών μέσω «ευεργετικών» φωτοχημικών επιδράσεων

Φωτομηχανικές επιδράσεις

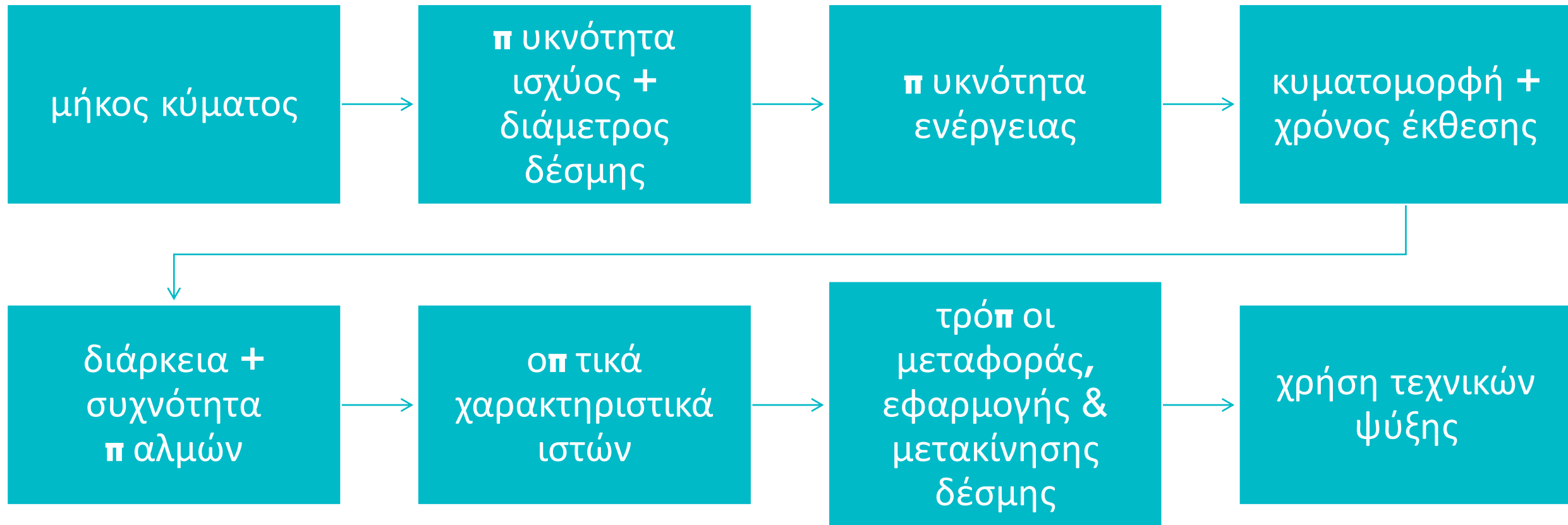
οφείλονται σε δημιουργία πλάσματος λόγω εκρηκτικής εξάτμισης ή φαινόμενο σπηλαίωσης (cavitation) – συσχετίζονται με παραγωγή κρουστικού κύματος

εφαρμογές
παλμικών
Er:YAG,
Er,Cr:YSGG
σε σκληρούς
οδοντικούς
ιστούς &
γνάθους

αξιοποίηση
σπηλαίωσης σε
λιθοτριψία
ουρολιθικού &
σιαλογόνων

αφαίρεση
δερματοστιγιών με
Q-switched
Nd:YAG

Παράγοντες που επηρεάζουν φωτοθερμικές επιδράσεις **Lasers**



Οπτικά χαρακτηριστικά ιστών

κυτταροβρίθεια + περιεκτικότητα
κυττάρων σε οργανίδια

αγγειοβρίθεια (αιμοσφαιρίνη)

βαθμός μελάγχρωσης (μελανίνη)

περιεκτικότητα σε νερό

θερμική αγωγιμότητα + χρόνος
θερμικής χάλασης

Κίνδυνοι από χρήση **lasers**

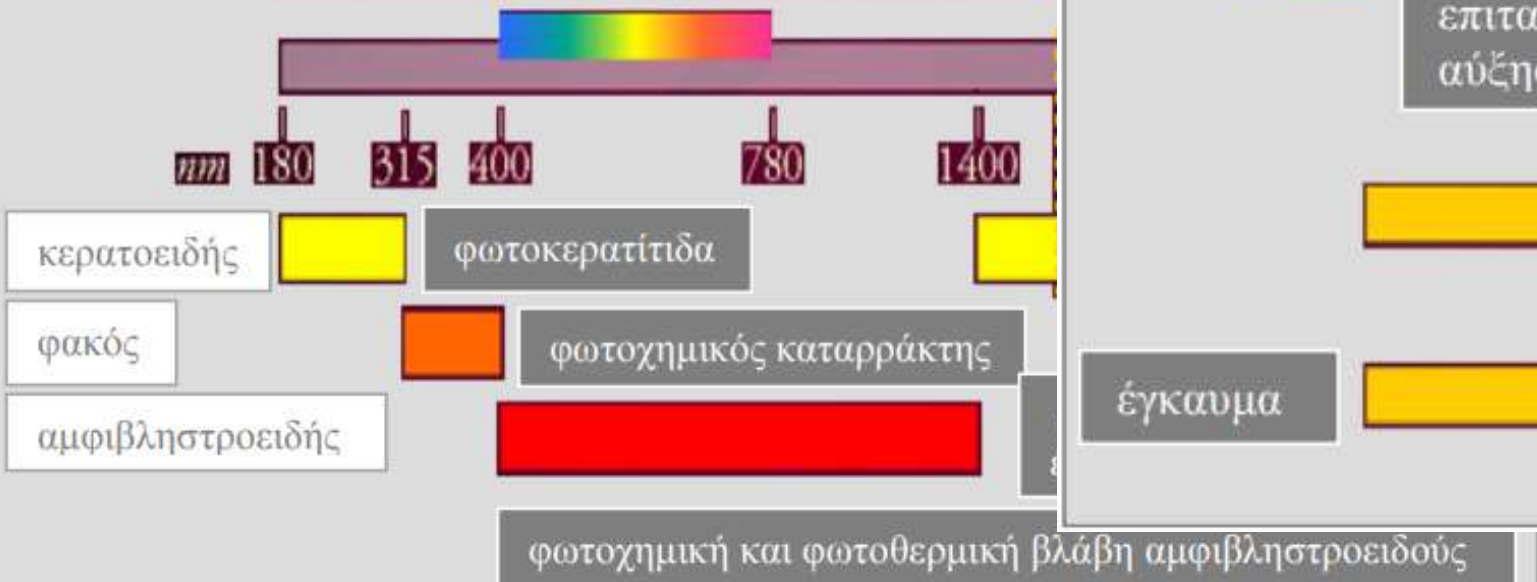
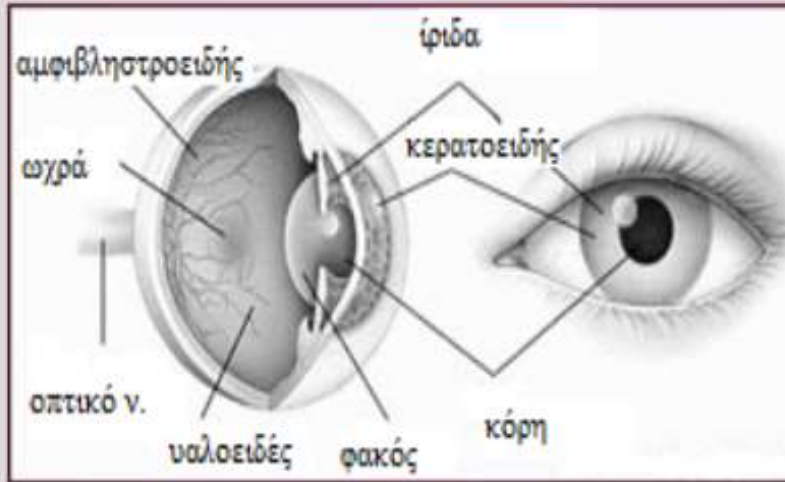
Όλα τα lasers με ιατρικές εφαρμογές είναι τάξης IV



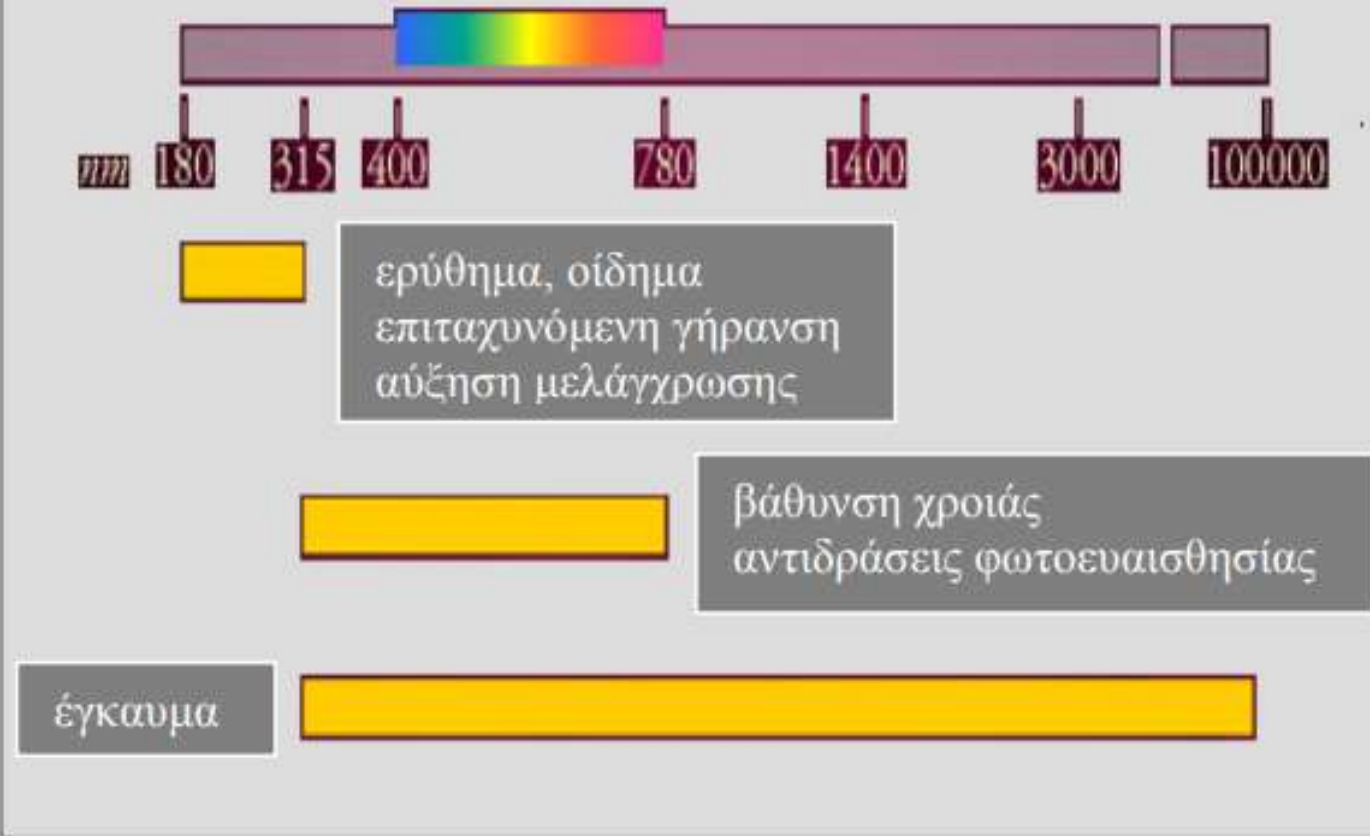
Τάξη IV: περιλαμβάνει lasers με ισχύ παραγωγής $>500\text{mW}$, η χρήση των οποίων ενέχει κινδύνους οφθαλμικών/δερματικών βλαβών και πρόκλησης πυρκαγιάς. Η απευθείας έκθεση στην δέσμη και η κατοπτρική ή διάχυτη ανάκλασή της από διάφορες επιφάνειες είναι εξίσου επιβλαβείς για μάτια και δέρμα, επιβάλλοντας την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων ασφαλείας.

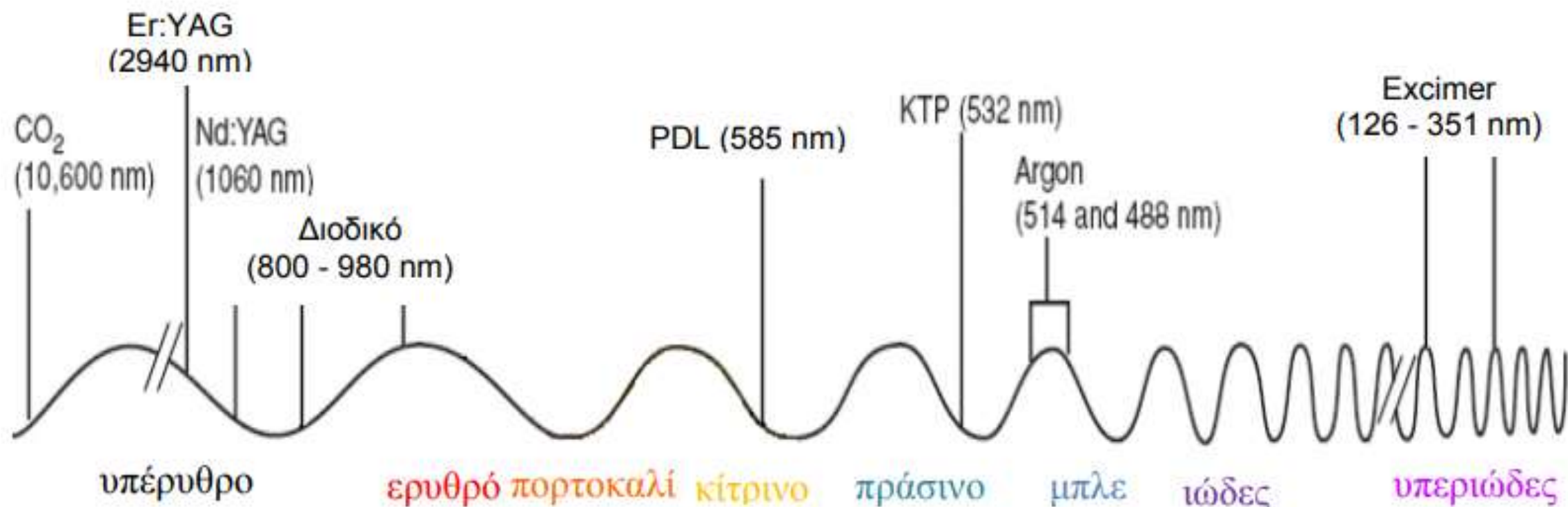
Κίνδυνοι από χρήση lasers

Δυνητικές οφθαλμικές βλάβες



Δυνητικές δερματικές βλάβες

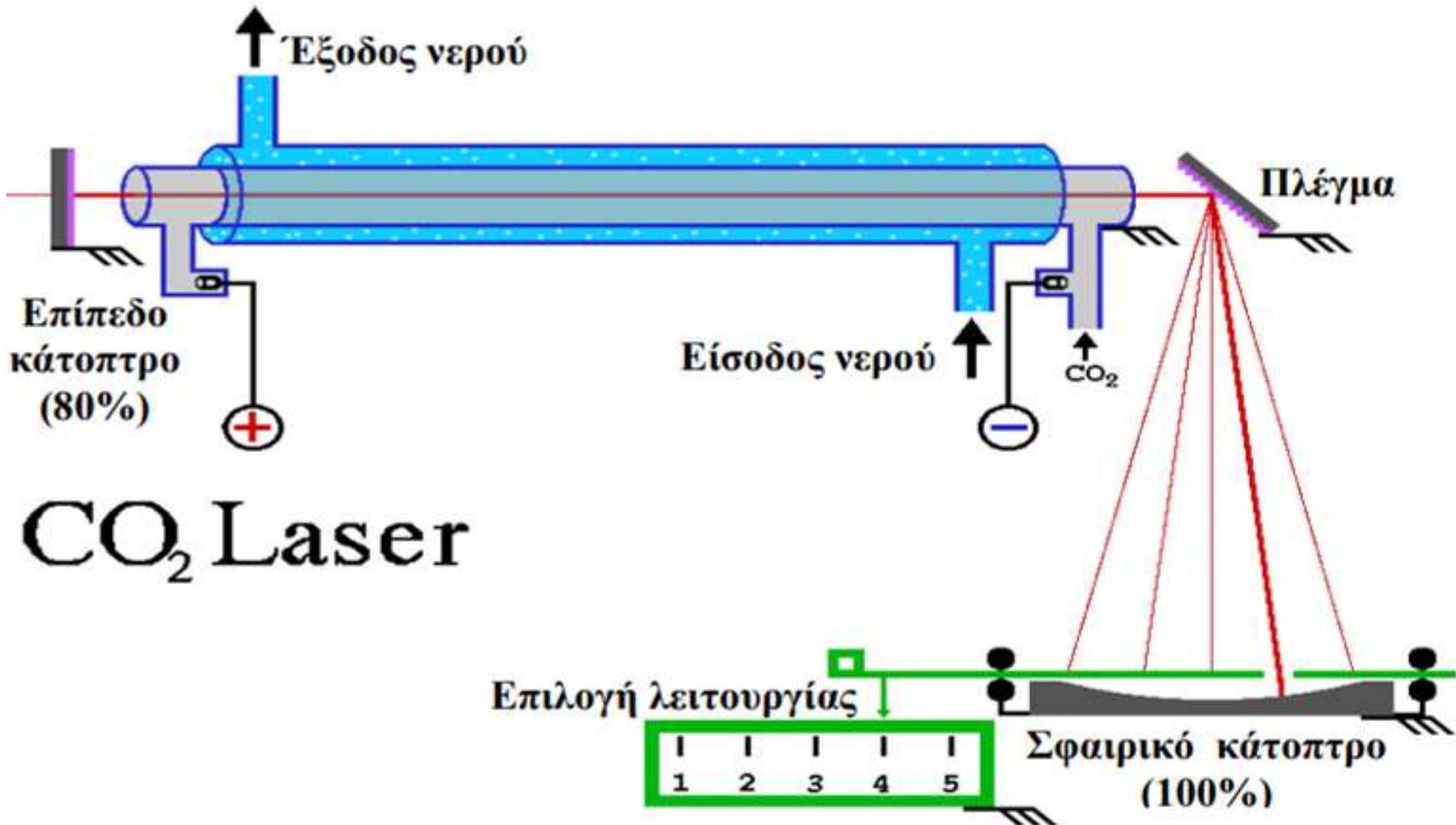




Τύποι laser με χειρουργικές εφαρμογές



Laser CO2



CO₂ Laser

Laser CO2

Μήκος κύματος 10,6 μm – συνεχής ή παλμική κυματομορφή

Σύστημα μεταφοράς δέσμης: αρθρωτός βραχίονας με σειρά κυλίνδρων συνδεόμενων με 6-7 κάτοπτρα

Υψηλός συντελεστής απορρόφησης από νερό & ιστούς με μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό, π.χ. στοματικός βλεννογόνος

Προκαλεί εξάτμιση ενδο- και εξω- κυττάρων μορίων νερού και καταστροφή κυτταρικών μεμβρανών

Το μικρό βάθος διείσδυσης (0,03-0,1mm) ελαχιστοποιεί παράπλευρη θερμική βλάβη

Πλεονεκτήματα: άριστη αιμόσταση + ελάχιστο μετεγ/κό οίδημα λόγω απόφραξης αγγείων διαμέτρου μέχρι 0,5mm – περιορισμός μικροβ. φορτίου στο χειρουργικό πεδίο – ↓ κινδύνου διασποράς καρκινικών κυττάρων – μειωμένος πόνος + ελάχιστη ουλοποίηση λόγω ↓ μυοϊνοβλαστών

Μειονεκτήματα: αδυναμία εφαρμογής σε υδατικό περιβάλλον – έλλειψη επαφής μεταξύ εργαλείου - ιστικής επιφάνειας στερεί από επεμβαίνοντα αίσθηση αφής και οδηγεί σε σκόπιμη επανειλημμένη εφαρμογή στην ίδια περιοχή → συσσώρευση θερμότητας + εκτεταμένη απανθράκωση – δημιουργία εκσεσημασμένης νεκρωτικής εσχάρας – υπολειπόμενη χρονικά και ποιοτικά επούλωση

Laser Nd:YAG

Μήκος κύματος 1064 nm – κυματομορφές: συνεχής (Οφθαλμολογία) ή Q-switched (αφαίρεση δερματοστιξιών) ή long-pulsed (χειρουργικές εφαρμογές)

Δυνατότητα μεταφοράς δέσμης μέσω ευέλικτων συστημάτων, π.χ. οπτικών ινών

Απορροφάται κυρίως από μελανίνη + αιμοσφαιρίνη - ελάχιστα από νερό & ιστούς με μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό

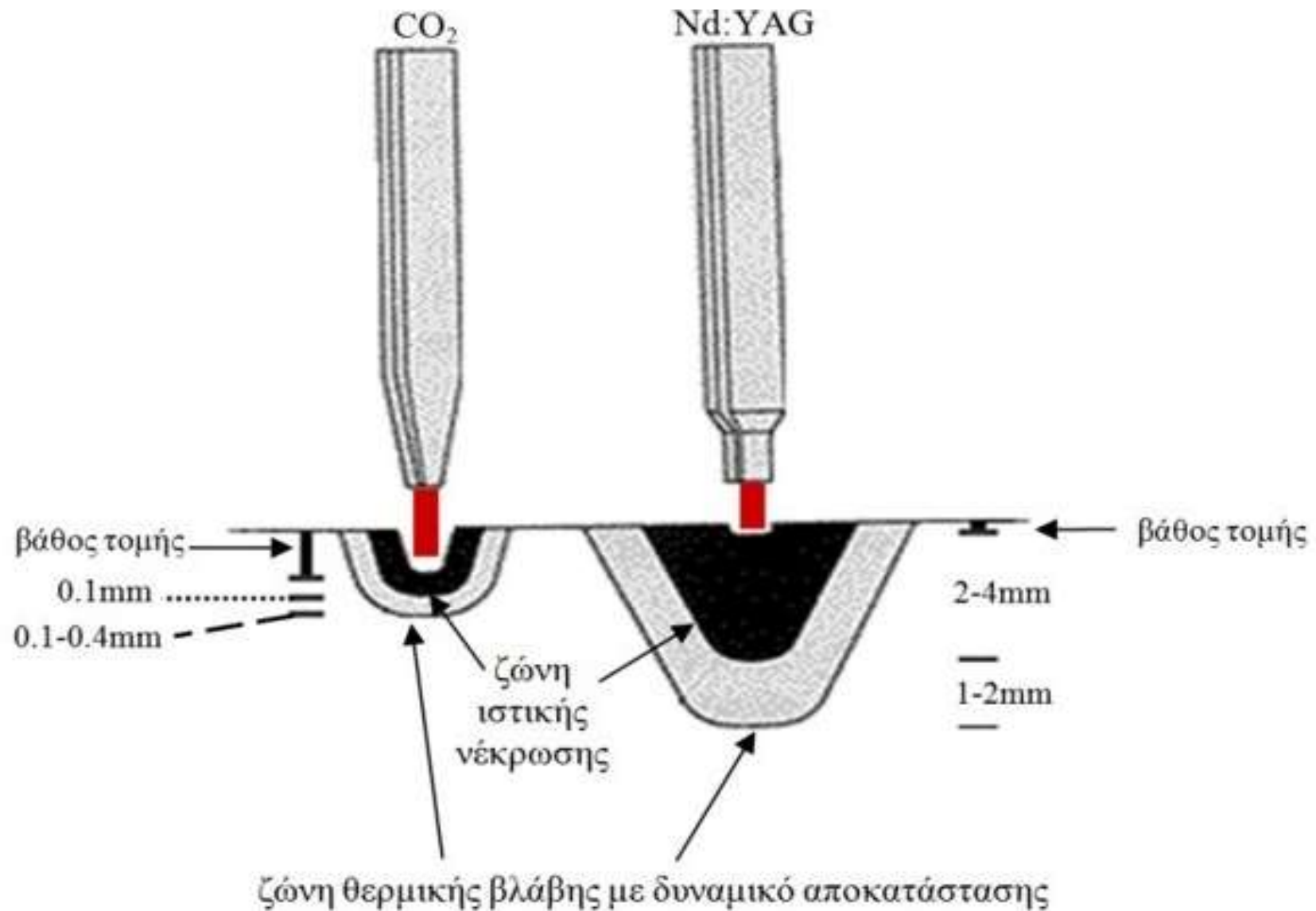
Το σχετικά μεγάλο βάθος διείσδυσης (1-5mm) και ο σημαντικός σκεδασμός (έως 40%) ισοδυναμούν με > παράπλευρη θερμική βλάβη, περιορίζοντας χρήση σε στοματικό βλεννογόνο

Πλεονεκτήματα: άριστη αιμόσταση σε ιδιαίτερα αγγειοβριθείς ιστούς (ηπατικό, νεφρικό παρέγχυμα) λόγω μεγάλου βάθους διείσδυσης και δυνατότητας σύγκλεισης αγγείων > διαμέτρου

Μειονεκτήματα: λόγω στενής εγγύτητας στοματικού βλεννογόνου με υποκείμενο οστόν περιορισμένη εφαρμογή στη Χειρουργική Στόματος

Πρόσφατα Nd:YAG επαφής με δέσμη μεταφερόμενη μέσω οπτικών ινών σε κεραμική ακίδα επί χειρολαβής προς αντιστάθμιση υψηλού σκεδασμού και περιορισμό παράπλευρης θερμικής βλάβης

Σύγκριση lasers CO₂ + Nd:YAG



Laser KTP

Γνωστό επίσης ως «laser διπλής συχνότητας Nd:YAG»

Ενεργό μέσο κρύσταλλος καλίου-τιτανίου-φωσφόρου / πηγή άντλησης laser Nd:YAG / παλμική κυματομορφή

Διέλευση δέσμης Nd:YAG (1064nm) δια του KTP διπλασιάζει συχνότητα και υποδιπλασιάζει μήκος κύματος (532nm)

Λόγω υψηλού συντελεστή απορρόφησης από αιμοσφαιρίνη και σχετικά μικρού βάθους διείσδυσης χρησιμοποιείται για διατομή επιπολής αγγειοβριθών ιστών (π.χ. στοματικού βλεννογόνου) ή εκτομή επιπολής αγγειακών (π.χ. τηλεαγγειεκτασιών) ή μελαγχρωματικών βλαβών

Διοδικά Lasers

Χρησιμοποιούν ως ενεργό μέσο ημιαγωγούς – ίδια αρχή λειτουργίας με LED

Πλέον διαδεδομένα τα GaAs & GaAlAs

Χρησιμοποιούνται στη Χειρουργική με μήκος κύματος 800-980nm

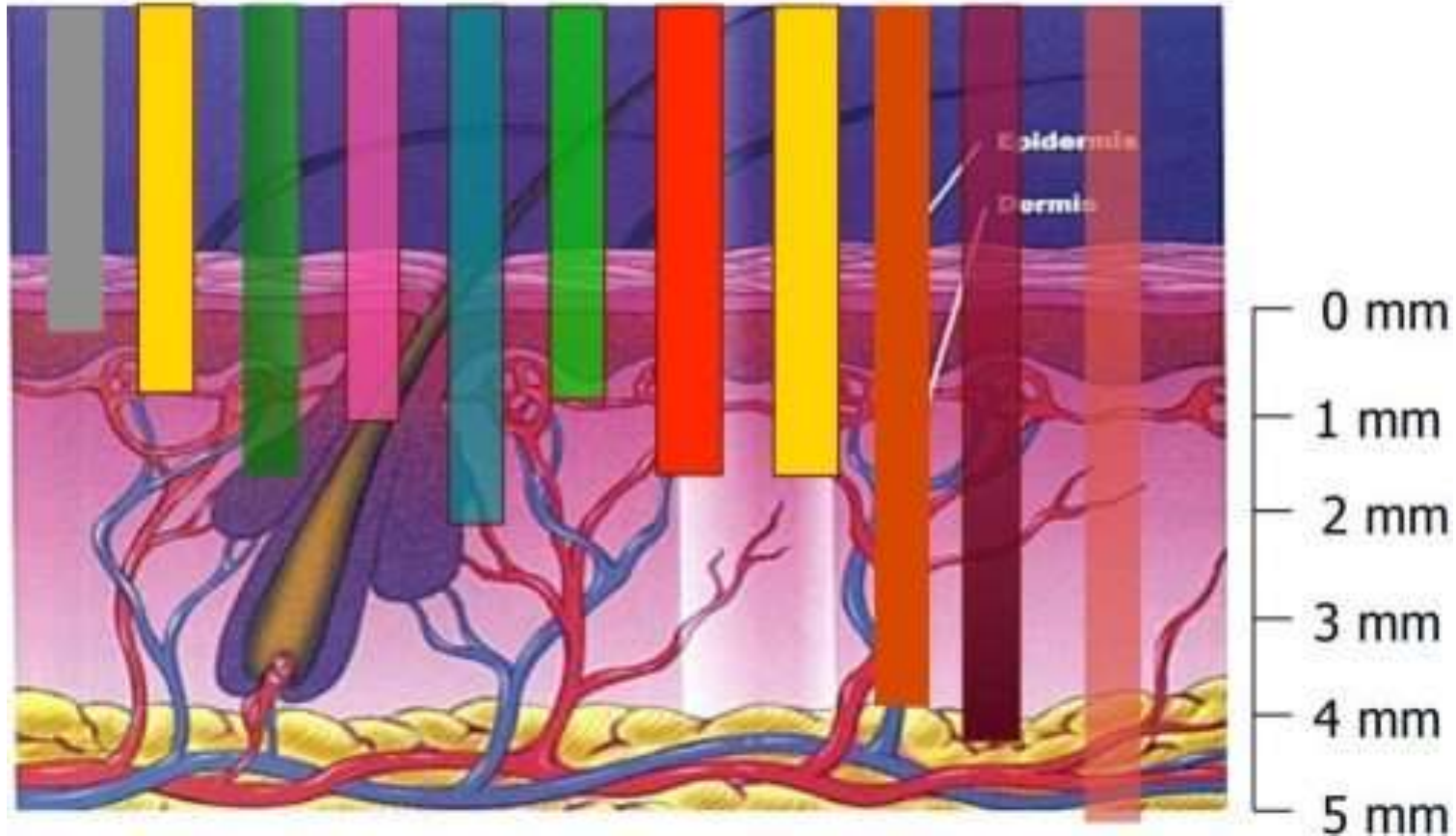
Συνεχής ή παλμική κυματομορφή

Λόγω σχετικά υψηλού συντελεστή απορρόφησης από αιμοσφαιρίνη και βάθους διείσδυσης γύρω στα 3mm χρησιμοποιούνται για διατομή επιπολής αγγειοβριθών ιστών (π.χ. στοματικού βλεννογόνου) ή εκτομή επιπολής αγγειακών βλαβών

Μειονεκτήματα: περιορισμοί σε μήκος οπτικών ινών για μεταφορά δέσμης, μειωμένη αντοχή

Σύγκριση διαφόρων τύπων **Lasers** ανάλογα με βάθος διείσδυσης στο δέρμα

ErYAG	CO ₂	1550	1440	1320	KTP	Ruby	PDL	Alex	Diode	NdYAG
2940	10,600				532	694	585	755	810	1064



Ενδείξεις **Lasers** στη Χειρουργική Στόματος

Αφαίρεση υπερπλασιών συμπεριλαμβανομένων epulis fissuratum

Χαλινεκτομή / χαλινοτομή

Εκτομή καλοήθων βλαβών στοματικού βλεννογόνου (θηλωμάτων, κονδυλωμάτων, ινωμάτων κλπ)

Μερική βιοψία (incisional biopsy) εκτεταμένων βλαβών

Αφαίρεση λευκοπλακιών (ιδιαίτερα σε σχέση με συγγειλία)

Εκτομή αγγειακών βλαβών (αιμαγγειωμάτων, δυπλασιών)

Ουλεκτομή / ουλοπλαστική / επιμήκυνση κλινικής μύλης

Χειρουργική περιοδοντίου

Θεραπεία περιεμφυτευματίτιδας

Αποκάλυψη εμφυτευμάτων

Αντένδειξη: λήψη ρετινοειδών έως και 2 έτη μετά τη διακοπή τους

Πλεονεκτήματα χρήσης **lasers**

Μειωμένες ανάγκες αναισθησίας

Ακριβής και ταχεία εκτομή/διατομή ιστών

Άριστη αιμόσταση

Συχνά δεν απαιτείται συρραφή

↓ μετεγχειρητικού οιδήματος + πόνου λόγω 'sealing' νεύρων & λεμφαγγείων διαμέτρου 0,5mm

↓ κινδύνου διασποράς καρκινικών κυττάρων λόγω 'sealing' αγγείων & λεμφαγγείων

↓ συστολής τραύματος λόγω αναστολής μυοϊνοβλαστών - ↓ κίνδυνος ουλοποίησης

Περιορισμός μικροβιακού φορτίου στο χειρουργικό πεδίο – περιορισμένη βακτηριαιμία

Μειονεκτήματα χρήσης **Lasers**

Μειονεκτική ιστο**π**αθολογική εκτίμηση εκταμένων ιστών

Παραγωγή χειρουργικού κα**π**νού – οσμή καμένου ιστού – **π**ιθανή δια**σπ**ορά λοιμογόνων

Ανάγκη εκπ**α**ίδευσης **π**ροσω**π**ικού – λήψης **π**ροφυλακτικών μέτρων

Υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης εξο**π**λισμού

Κίνδυνος βλάβης **π**ροσκείμενων ανατομικών δομών λόγω **π**αρά**π**λευρης θερμικής βλάβης

Υ**π**ολει**π**όμενη χρονικά και **π**οιοτικά επούλωση άμεσα μετεγχειρητικά

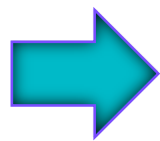
Κίνδυνος υπο**π**οτρο**π**ής ή εξαλλαγής λευκο**π**λακιών (;)



Er:YAG



CO₂





**Ευχαριστώ για την
προσοχή σας!**