

Πηγές φωτός στην επεμβατική δερματολογία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση της φωτοθεραπείας στην ιατρική έχει μακρά ιστορία, που ξεκινάει από την αρχαία Αίγυπτο. Μέχρι σήμερα έχει σημειωθεί σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογία με τις συσκευές αυτές να έχουν ένα ευρύτατο φάσμα χρήσης στην Ιατρική. Στην εργασία αυτή θα ασχοληθούμε με τις βασικές αρχές λειτουργίας των πηγών φωτός στην επεμβατική δερματοχειρουργική.

Λεξιλόγιο ευρετηρίου: *laser, συσκευές ραδιοσυχνοτήτων, πολυχρωματικό φως, δίοδος εκπομπής φωτός, εξαναγκασμένη εκπομπή, αναστροφή πληθυσμού, εκλεκτική φωτοθερμόλυση, κλασματική φωτοθερμόλυση.*

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:

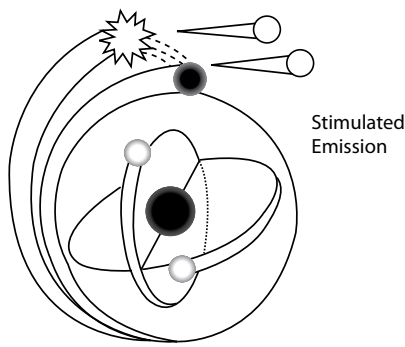
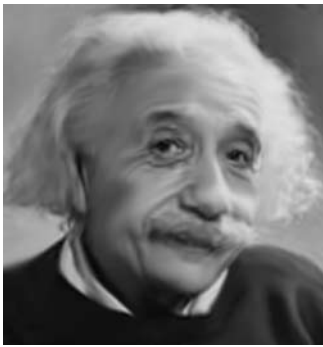
ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΓΡ. ΚΩΣΤΑΚΗΣ

Διευθ., Γ' Δερματολογική Κλινική
Νοσ. "Α. Συγγρός"

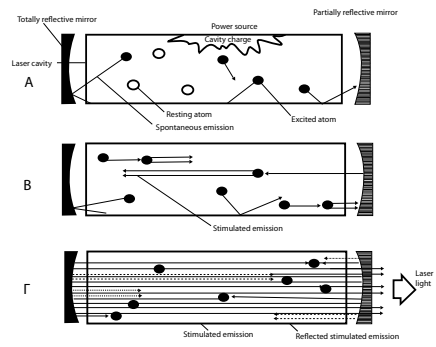
ΠΗΓΕΣ ΦΩΤΟΣ-LIGHT DEVICES

Το ορατό φως αποτελεί ένα μικρό μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα μήκη κύματος που είναι ορατά στο ανθρώπινο μάτι κυμαίνονται από 400 έως 700 νανόμετρα. Στην καθημερινή μας ζωή "βομβαρδιζόμαστε" από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, της οποίας ένα μικρό μέρος γίνεται αντιληπτό από τα μάτια μας. Η κυριότερη πηγή της ορατής ακτινοβολίας είναι βέβαια ο ήλιος, αλλά οι πηγές της μη ορατής ακτινοβολίας είναι πολλές. Ο ήλιος είναι μια τέτοια πηγή μη ορατής ακτινοβολίας. Στο εσωτερικό των διάφορων χώρων η ορατή ακτινοβολία προέρχεται από πηγές τεχνητού φωτός, όπως μια λάμπα πυρακτώσεως. Κάποιες από τις πηγές φωτός βρίσκουν εφαρμογή στη σύγχρονη Ιατρική Επιστήμη σε επεμβατικές και μη θεραπείες. Αυτές είναι:

- Laser
- Mn Lasers
- Α) IPL (Πολυχρωματικό φως)

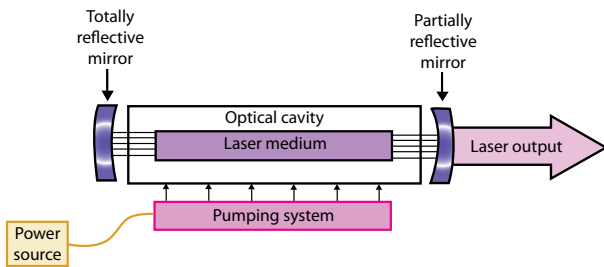


Stimulated Emission



Εικόνα 2. Το φαινόμενο της αντιστροφής των πληθυσμών.

Εικόνα 1. Albert Einstein-θεωρία της εξαναγκασμένης εκπομπής.



Εικόνα 3. Διάταξη συσκευής laser.

B) Light Emmiting Diode (Δίοδος Εκπομπής Φωτός)

Γ) Radiofrequency devices (Ραδιοσυχνότητες)

As αναφερθούμε στην κάθε μία ξεχωριστά.

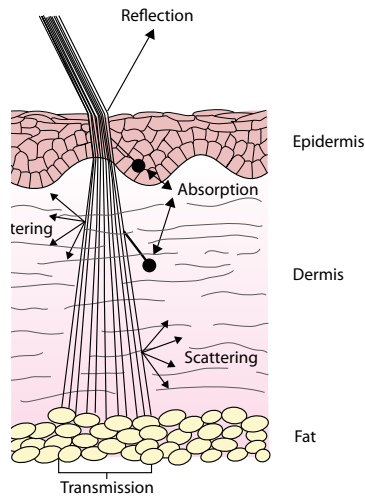
LASER

Ο όρος laser προέρχεται από το αγγλικό ακρωνύμιο Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation που αποδίδεται στα ελληνικά ως ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας και καλύπτει τόσο τις συσκευές που την παράγουν όσο και την αντίστοιχη ακτινοβολία.

Τα laser αποτελούνται από το ενεργό υλικό, την οπτική κοιλότητα και από δύο παράλληλα κάτοπτρα.

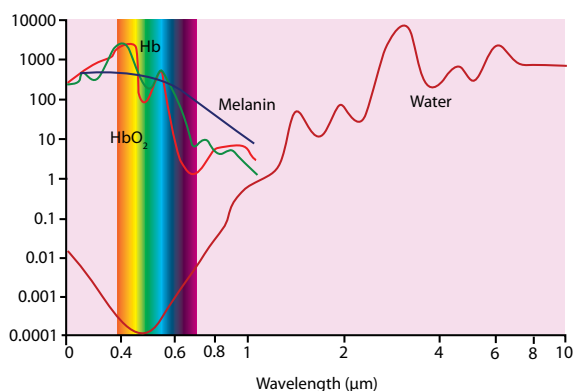
Οι αρχές της ακτινοβολίας Laser

Βασίζονται στο έργο του Albert Einstein "The Quantum Theory of Radiation" (1917). Σύμφωνα με αυτήν η απορρόφηση ενέργειας από τα άτομα προκαλεί μετάβαση ενός ηλεκτρονίου από την κατάσταση ηρεμίας στην κατάσταση διέγερσης. Επειδή η κατάσταση

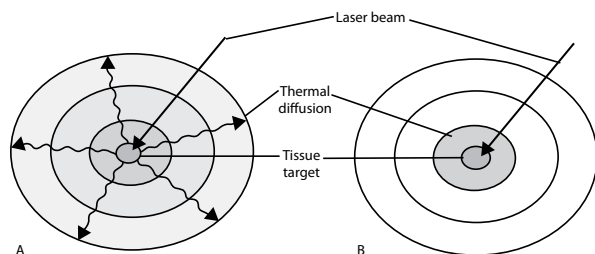


Εικόνα 4. Φαινόμενα μετά από την πρόσκρουση της ακτίνας laser στο δέρμα.

διέγερσης δεν είναι σταθερή, το διεγερμένο ηλεκτρόνιο τείνει να εκπέμψει την ενέργεια που απορρόφησε και να επιστρέψει στην προηγούμενη κατάσταση ηρεμίας. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται αυθόρμητη εκπομπή και απελευθερώνει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υπό τη μορφή φωτονίων. Ο Einstein πρότεινε τη θεωρία σύμφωνα με την οποία αν ένα άτομο που βρίσκεται ήδη σε κατάσταση διέγερσης ακτινοβοληθεί με ενέργεια ίδιου μήκους κύματος με αυτήν που προκάλεσε τη διέγερση, επιστρέφει στην κατάσταση ηρεμίας εκπέμποντας δύο φωτόνια ίδιας συχνότητας και μήκους κύματος που κινούνται στην ίδια κατεύθυνση. Το φαινόμενο καλείται εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας και αποτελεί τη βάση της παραγωγής της δέσμης laser. Προκειμένου να επιτευχθεί εξαναγκασμένη εκπομπή φωτεινής ακτινοβολίας, τοποθετούνται άτομα σε μία κοιλότητα που φορτίζεται ηλεκτρικά με αποτέλεσμα τη μετάβασή τους σε κατάσταση διέγερσης.



Εικόνα 5. Απορρόφηση από τα χρωμοφόρα.

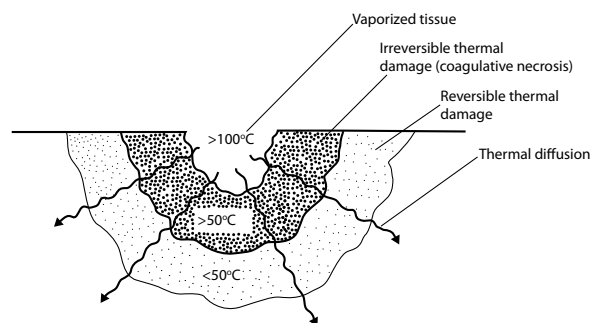


Εικόνα 7. Εκλεκτική φωτοθερμόλυση.

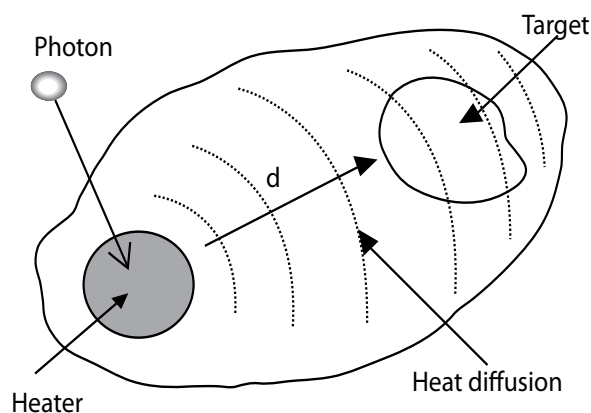
Όταν η πλειοψηφία των ατόμων διεγερθεί, η κατάσταση αυτή περιγράφεται ως αναστροφή πληθυσμού. Σε αυτή τη φάση, τα εκπεμπόμενα φωτόνια έχουν πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα, κινούμενα κατά μήκος του επιμήκη άξονα της κοιλότητας να συγκρουστούν με άλλα διεγερμένα άτομα και να προκαλέσουν εξαναγκασμένη εκπομπή.

Τα κάτοπτρα που είναι τοποθετημένα στα δύο άκρα της επιμήκου κοιλότητας αναγκάζουν τα φωτόνια σε συνεχή κίνηση που προκαλεί νέες συγκρούσεις και πολλαπλάσιες εκπομπές φωτονίων. Ένα από τα κάτοπτρα αντανακλά μερικώς μόνο, κατά τέτοιο τρόπο ώστε ένα ποσοστό 5-10% των φωτονίων να απομακρύνονται από την κοιλότητα παράγοντας δέσμη laser. Το υλικό που παρέχει τα άτομα ονομάζεται ενεργό υλικό. Συνήθως είναι υλικό με συγκεκριμένο μέγεθος, σύσταση, καθαρότητα και μορφή. Το ενεργό υλικό αντλείται από μία εξωτερική πηγή ενέργειας. Τέτοιες πηγές μπορεί να είναι ηλεκτρικές ή φωτεινές, όπως η λυχνία έκλαμψης (flash lamp) ή κάποια άλλη πηγή laser.

Τα χαρακτηριστικά του φωτός που παράγονται από εξαναγκασμένη εκπομπή είναι παρόμοια με αυτά



Εικόνα 6. Βιολογική απάντηση των ιστών.



Εικόνα 8. Εκλεκτική φωτοθερμόλυση.

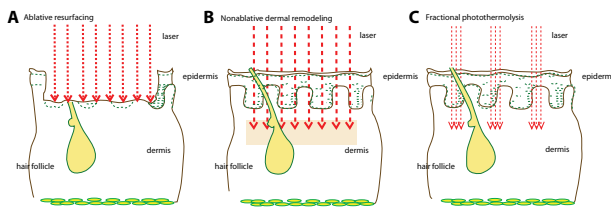
του αρχικού φωτός, ως προς το μήκος κύματος, την πόλωση και την φάση. Έτσι λοιπόν, το φως του laser που παράγεται είναι σύμφωνο, ενώ η σταθερότητα της πόλωσης και η μονοχρωματικότητα εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της οπτικής κοιλότητας.

Αν η δέσμη δημιουργείται και διαδίδεται σε ελεύθερο περιβάλλον και όχι μέσα σε κυματοδηγούς (όπως στην περίπτωση των οπτικών ινών), τότε η ένταση του φωτός εμφανίζει κανονική (Γκαουσιανή) κατανομή, κάθετα στην διεύθυνση διάδοσής της. Η δέσμη του laser είναι σχεδόν απόλυτα ευθυγραμμισμένη, δηλαδή δεν αποκλίνει. Παρόλα αυτά, τέλεια ευθυγραμμισμένη δέσμη δεν μπορεί να υπάρξει λόγω περίθλασης.

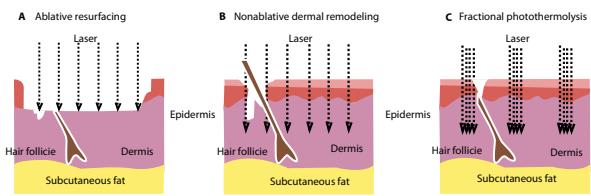
Οι ιδιότητες των ακτινών laser

Με βάση τα παραπάνω, είναι:

A) Μονοχρωματικότητα. Δηλαδή κάθε εκπομπή έχει ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος, ανάλογο με



Εικόνα 9. Κλάσματική φωτοθερμόλυση.



Εικόνα 10. Κλάσματική φωτοθερμόλυση.

το ενεργό υλικό από το οποίο αποτελείται. Είναι ομοιογενές φως.

- Β) Συμφωνία (χωρική-χρονική). Τα χαρακτηριστικά του φωτός που παράγονται από εξαναγκασμένη εκπομπή είναι παρόμοια με αυτά του αρχικού φωτός.
- Γ) Κατευθυντικότητα. Οι ακτίνες δεν αφήνεται μεταξύ τους και εξακολουθούν να είναι παράλληλες ακόμα και σε μεγάλη απόσταση από την πηγή εκπομπής. Σε μια κοινή φωτιστική εστία, π.χ. μια λάμπα, τα φωτόνια εκπέμπονται προς κάθε κατεύθυνση και ανήκουν σε όλα τα μήκη κύματος του ορατού κυρίως φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Δ) Λαμπρότητα. Αφορά την ισχύ της δέσμης ανά μονάδα επιφάνειας που στην περίπτωση της δέσμης laser είναι ιδιαίτερα υψηλή.

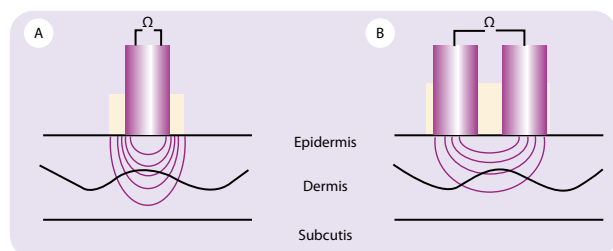
Φαινόμενα

Όταν η ακτίνα Laser προσπέσει σε έναν ιστό μπορούν να συμβούν τέσσερα (4) φαινόμενα που αφορούν την ακτίνα:

1. Ανάκλαση (refraction): Πράγμα που ενδιαφέρει τον ασθενή και τον γιατρό γιατί μπορεί να αποβεί επικίνδυνη.
2. Σκέδαση: Δηλαδή διασκορπισμός μέσα στον ιστό.
3. Μετάδοση (Transmission): Κατευθείαν μέσα στον ιστό.
4. Απορρόφηση (Absorption): Όσο αυξάνεται η κατηγορία της συσκευής, τόσο αυξάνεται και η απορρόφηση από το σώμα.

Βιολογική Απάντηση

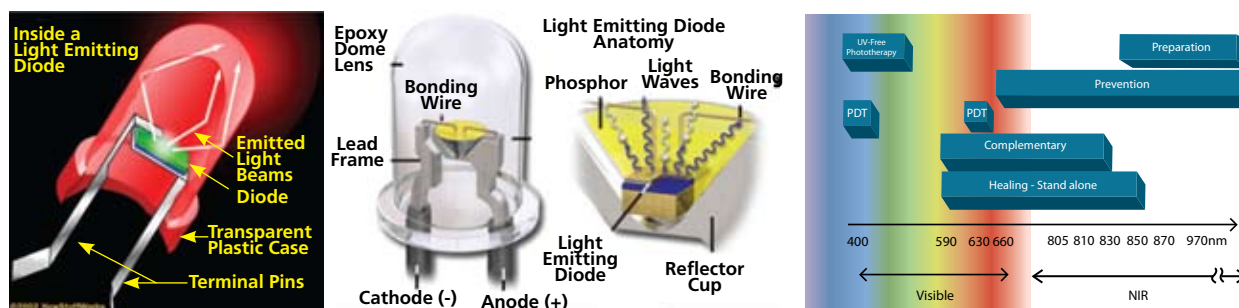
Η βιολογική απάντηση ενός ζώντος ιστού μετά την απορρόφηση της ακτίνας Laser μπορεί να πάρει διάφορες μορφές, διάφορα βιολογικά αποτελέσματα. Με βάση το νόμο του Grothus-Draper το φως δρα



Εικόνα 11. Συσκευές ραδιοσυχνότητας.

στους ιστούς μόνο όταν απορροφηθεί. Υπάρχουν 3 είδη βιολογικού αποτελέσματος:

1. Φωτοερεθισμός (Photostimulation) Φωτοενεργοποίηση: Συμβαίνει όταν μια χαμηλής ενέργειας ακτίνα (600mW), προκαλεί κάποια κυτταρική αντίδραση. Η αντίδραση αυτή μπορεί να πάρει τη μορφή διαφόρων επιθυμητών μεταβολών, όπως η καταστροφή καρκινικών κυττάρων, επούλωση τραυμάτων, αναλγησία.
2. Εξάερωση: (Vaporisation) Εξάτμιση: Όταν ένα υλικό απορροφά ενέργεια αναπτύσσεται σε αυτό θερμότητα. Στην περίπτωση της ακτινοβολίας Laser που μπορεί να εστιαστεί σε πολύ μικρή περιοχή, το αποτέλεσμα είναι ανάπτυξη τοπικά πολύ υψηλής θερμοκρασίας. Όταν η θερμοκρασία φθάσει 100°C το περιεχόμενο ύδωρ, των κυττάρων βράζει γίνεται ατμός και το κύτταρο εκρήγνυται, ελευθερώνοντας καπνό και υδρατμούς. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες 400°C μένουν υπολείμματα άνθρακος. Χρησιμοποιείται για την πρόκληση τομών. Η θερμαντική δράση εξαρτάται από το μήκος κύματος των Laser, από το χρώμα τους, από τον συντελεστή απορρόφησης ενέργειας, από τοπικούς ψυκτικούς παράγοντες (ροή αίματος στα τριχοειδή έκχυση, ορού κλπ.) και από την θερμαντική παύση για τα pulses Laser.
3. Πήξη (Coagulation): Όταν η θερμοκρασία φθάσει στους 60°C οι πρωτεΐνες του κυττάρου επηρεάζονται



Εικόνα 12. LEDs.

και στους 65°C συρρικνώνονται και πήζουν. Αυτό ονομάζεται "φωτοπηκτική νέκρωση" και μοιάζει με τα εγκαύματα της ηλεκτροπηξίας. Χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση αιμορραγιών.

Οι ουσίες του οργανισμού (DNA, RNA, πρωτεΐνες, αιμοσφαιρίνη, παράγωγα αιματοπορφυρίνης, μελανίνη, μαύρο μελάνι, νερό) που απορροφούν σημαντική ενέργεια ονομάζονται χρωμοφόρα ενδογενείς ή εξωγενείς ουσίες.

Η θεωρία της Εκλεκτικής Φωτοθερμόλυσης- Selective Photothermolysis

Η θεωρία της εκλεκτικής φωτοθερμόλυσης διατυπώθηκε από τους Aderson και Parish το 1981. Όταν η ενέργεια της δέσμης laser απορροφάται από ένα χρωμοφόρο, αυξάνεται η θερμοκρασία του. Ως χρόνος θερμικής χαλάρωσης (Thermal Relaxation Time/ TRT) ορίζεται το διάστημα που χρειάζεται ένας ιστός για να ψυχθεί στο 50% της θερμοκρασίας που απέκτησε μετά την πρόπτωση της δέσμης laser. Για τα περισσότερα χρωμοφόρα του δέρματος, ο χρόνος αυτός είναι ανάλογος του μεγέθους. Όταν ένας ιστός στόχος θερμανθεί για χρονικό διάστημα μικρότερο από τον TRT, οι βλάβες περιορίζονται εντός του συγκεκριμένου μόνο ιστού, ενώ οι παρακείμενοι ιστοί παραμένουν ανέπαφοι(TDT). Η θεωρία της εκλεκτικής φωτοθερμόλυσης αναλύει τις παραμέτρους εφαρμογής των laser κατά τρόπο τέτοιο ώστε να καταστρέφεται επιλεκτικά μόνο ο ιστός στόχος.

Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται:

- κατάλληλο μήκος κύματος ώστε η δέσμη να απορροφηθεί κυρίως από το χρωμοφόρο,
- ικανοποιητική παροχή ενέργειας για να προκληθεί καταστροφή του στόχου και γ) η διάρκεια ακτινοβολίας να είναι μικρότερη του TRT του χρωμοφόρου.

Κλασματική Φωτοθερμόλυση-Fractional Photothermolysis

Αυτή η εφαρμογή των laser μπορεί να είναι επεμβατική (10.640nm) ή μη επεμβατική (1340, 1540nm). Η ακτίνα laser συγκροτείται από πλήθος μικροσκοπικών δεσμών, που απορροφάται από το νερό. Χαρακτηριστικό της εφαρμογής είναι η εξαιρετική ακρίβειά της. Η θερμική βλάβη από την απορρόφηση εντοπίζεται σε μικρές ιστικές περιοχές (Microthermal Zones/ MTZs) επιφάνειας 400-2000cm² και εύρους 50-100μm ενώ η μεταξύ τους απόσταση είναι 150-250μm (ζώνες απάντησης).

Λόγω αυτών των χαρακτηριστικών, η κλασματική φωτοθερμόλυση είναι σε θέση να θεραπεύει με ακρίβεια χιλιάδες μικροσκοπικές περιοχές του δέρματος. Είναι το μόνο που μπορεί με ασφάλεια να περάσει στα βαθύτερα στρώματα του δέρματος, χωρίς να καταστρέφει τις προστατευτικές επιφανειακές στιβάδες του δέρματος. Το fractional laser, έχει την δυνατότητα να στοχεύει το 5 έως 50% της επιφάνειας του δέρματος, αφήνοντας το υπόλοιπο 50 έως 95% διαθέσιμο να επουλώσει γρήγορα την περιοχή στην οποία έγινε η θεραπεία.

ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΝΤΟΝΟΥ ΠΑΛΜΙΚΟΥ ΦΩΤΟΣ (IPL DEVICES)

Η τεχνολογία του έντονου παλμικού φωτός βασίστηκε στην εκπομπή παλμών φωτός υψηλής έντασης που μοιάζουν με το Laser αλλά δεν είναι Laser, για να διαπεράσει το δέρμα με στόχο την ανάπλησή του. Το IPL (Intense Pulsed Light) ή αλλιώς παλμικό φως, διαφέρει από το laser στο ότι η ακτινοβολία που εκπέμπεται είναι πολυχρωματική, μη σύμφωνη και βρίσκεται στο ορατό φάσμα φωτός σε μήκος κύματος 515-1200nm. Στην εφαρμογή χρησιμοποιούνται φίλτρα (480-755nm) που δεν επιτρέπουν τη διέλευση

ακτινών με μικρό μήκος κύματος.

Οι θεραπείες με έντονο παλμικό φως κατατάσσονται στις μη επεμβατικές μεθόδους αναζωογόνησης ενώ οι θεραπείες με laser μπορεί να είναι επεμβατικές και μη.

Οι ενδείξεις για θεραπεία με συσκευές έντονου παλμικού φωτός είναι: αποτρίχωση, photorejuvenation, dermal remodeling.

ΔΙΟΔΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΦΩΤΟΣ (LIGHT-EMITTING DIODES/ LEDS)

Οι δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) είναι διατάξεις ημιαγωγών, που εκπέμπουν μη σύμφωνη δέσμη φωτός περιορισμένου πεδίου φάσματος όταν επηρεάζονται από ηλεκτρικό ρεύμα κατά την προς τα εμπρός (από θετική προς αρνητική) κατεύθυνση ροής του. Κατά τη διαδικασία αυτή σχηματίζεται μια μορφή ηλεκτρικής φωτοακτινοβολίας. Το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται εξαρτάται από τη χημική σύσταση των ημιαγωγίμων υλικών που χρησιμοποιούνται. Το φως μπορεί να είναι σχεδόν υπεριώδες, ορατό ή υπέρυθρο.

Τα LED φωτόνια που παράγονται απορροφώνται από χρωμοφόρα όπως πορφυρίνες και φλαβίνες που βρίσκονται στα μιτοχόνδρια και την κυτταρική μεμβράνη.

ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (RADIOFREQUENCY/ RF)

Οι τεχνολογίες ραδιοσυχνότητας (RF), μονοπολική και διπολική, χρησιμοποιούν ένα σύστημα διπλού ηλεκτροδίου: ένα για την εκπομπή της ενέργειας των ραδιοσυχνοτήτων και ένα δεύτερο που χρησιμεύει ως ηλεκτρόδιο για την επιστροφή του ηλεκτρικού ρεύματος. Παράγουν εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα (0.3-40 MHz). Ο μηχανισμός που ευθύνεται για τη θερμότητα που προκαλεί οι RF στον ιστό στηρίζεται στην αντίσταση της αγωγίμης ροής του ηλεκτρικού ρεύματος (ιστολογικά εξαρτώμενη από τη σύνθετη αντίσταση του ιστού).

Οι μονοπολικές συσκευές παράγουν ομοιόμορφη θερμότητα λόγω της αυξημένης αντίστασης του χορίου και του υποδορίου ιστού (κακοί αγωγοί), τα ινίδια του κολλαγόνου υφίστανται μετουσίωση και

σύσπαση που οδηγούν σε σύσφιξη του δέρματος (Κ. Νούτσος 2008). Οι διπολικές (RF) συσκευές παρέχουν ηλεκτρικό ρεύμα ταυτόχρονα με οπτική ενέργεια από laser ή IPL (electro-optical synergy). Συνδυασμός διπολικής (RF) και IPL ή diode laser 810nm είναι αποτελεσματικός στην αποτρίχωση. Έχουν λιγότερες ανεπιθύμητες ενέργειες.

SUMMARY

The application of Phototherapy in medicine begins from ancient times. The evolution of these devices until today is major. The applications of Phototherapy in medicine are wide. This study concerns the principles of these devices in dermatologic surgery.

Key words: laser, Radiofrequency devices (RF), IPL, LED, stimulated emission, population inversion, selective photothermolysis, fractional photothermolysis.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Laser Dermatology. Editor David J. Goldberg. Springer, Berlin 2005.
2. Laser Dermatology: Pearls and Problems. David J. Goldberg. Blackwell Publishing, 2008.
3. Illustrated Cutaneous Laser Surgery. Dover JS, Arndt KA. Norwalk, Connecticut 1990.
4. Anderson RR, Parrish J. Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of the pulsed radiation. Science 1983; 220:524-526.
5. Altshuler B.G. Anderson RR et al. Extended Theory of Selective photothermolysis. Laser in Surg and Med 2001; 29:416-432.
6. Manstein D, Scott Herron G et al. Fractional photothermolysis; A New Concept for Cutaneous Remodeling Using Microscopic Patterns of Thermal Injury. Laser in Surg and Med 2004; 34:426-438.
7. Alvarez N, Ortiz L et al. The Effects of Radiofrequency on Skin: Experimental Study. Laser in Surg and Med 2008; 40:76-82.
8. Jih H.M, Kimyai- Asadi A. Fractional photothermolysis; Semin Cutan Med Surg 27:63-71.
9. Κωστάκης Π., Ρηγόπουλος Δ., Ιωαννίδης Δ. Βασικές αρχές των Laser. Ελλην. Επιθ. Δερμ. Αφροδ. 2000; 11:84-88.