

Νεότερα δεδομένα για τις εφαρμογές του laser στη σύγχρονη οδοντιατρική πράξη. ΜΕΡΟΣ I: Γενικά στοιχεία.

Μ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ¹, Ζ. ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ¹, Α. ΜΠΑΚΟΠΟΥΛΟΥ²

Εργαστήριο Προσθητικής, Οδοντιατρικό Τμήμα, Σχολή Επιστημών Υγείας Α.Π.Θ.

Current data on laser applications in modern dental practice.

PART I: General information.

M. GEORGIU¹, Z. DASKALAKI¹, A. BAKOPOULOU²

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Faculty of Health Sciences, Aristotle University of Thessaloniki

Περίληψη

Από το 1960 που παρουσιάστηκε η πρώτη μελέτη για την εφαρμογή του laser στους οδοντικούς ιστούς μέχρι και σήμερα έχουν δημοσιευθεί πολυάριθμες μελέτες για τις εφαρμογές του laser στην οδοντιατρική. Λόγω της γρήγορης εξέλιξης της τεχνολογίας και των θετικών θεραπευτικών αποτελεσμάτων όλο και περισσότεροι οδοντίατροι ενδιαφέρονται να αποκτήσουν συσκευές laser και να επωφεληθούν από τις θεραπευτικές δυνατότητες που προσφέρουν. Σκοπός της παρούσας βιβλιογραφικής ανασκόπησης είναι η μελέτη της χρήσης και του τρόπου λειτουργίας των σύγχρονων lasers στην Οδοντιατρική, η διερεύνηση των εφαρμογών τους στους σκληρούς και μαλακούς ιστούς της στοματικής κοιλότητας και η παράθεση κατευθυντήριων οδηγιών για την ασφαλή χρήση τους στην κλινική πράξη. Η ακτινοβολία του laser αλληλεπιδρά με τους ιστούς με: ανάκλιση, σκέδαση, διάδοση και απορρόφηση. Η αλληλεπίδραση laser και ιστών επηρεάζεται από μία πληθώρα παραγόντων. Αρκετά είδη laser διατίθενται για οδοντιατρική χρήση, τα οποία εκπέμπουν σε διαφορετικά μήκη κύματος και επιλέγονται με βάση τα χαρακτηριστικά τους και το είδος των ιστών που πρόκειται να ακτινοβολήσουν. Για τους σκληρούς ιστούς ενδείκνυται υψηλή μήκη κύματος, ενώ για τους μαλακούς ιστούς υπάρχουν περισσότερες επιλογές. Η θεραπεία με lasers χαμηλής ενέργειας αξιοποιεί lasers χαμηλού μήκους κύματος για την επούλωση μαλακών ιστών. Συνοψίζοντας, τα οδοντιατρικά lasers εξελίσσονται συνεχώς. Ο σημερινός οδοντίατρος έχει να επιλέξει ανάμεσα σε αρκετά είδη laser και μήκη κύματος. Οφείλει, επομένως, να είναι ενημερωμένος για τις διαθέσιμες επιλογές, ώστε να μπορεί να τα συγκρίνει και να επιλέγει το κατάλληλο laser κατά περίπτωση λαμβάνοντας τα απαραίτητα μέτρα προστασίας.

Λέξεις κλειδιά: Οδοντιατρικά lasers, σκληροί οδοντικοί ιστοί, μαλακοί στοματικοί ιστοί, θεραπεία laser χαμηλής ενέργειας, ασφάλεια με laser.

Summary

Since the first study of laser application on dental tissues was published in 1960, there has been an explosion of research studies on laser application. Due to the rapid evolution of laser technology and the positive therapeutic results, an increasing number of dentists become interested in lasers and want to take advantage of the beneficial possibilities they can offer. The purpose of this literature review is to investigate the application of lasers on hard dental and soft oral tissues, to present the different parameters and settings of operation and to provide important guidelines for their proper and safe use in clinical dental practice. The light energy produced by a laser interacts with the target tissue in 4 different ways: reflection, transmission, scattering and absorption. The laser effect on tissues might be affected by various factors. Numerous types of lasers emitting radiation in a wide range of wavelengths are available for dental use. For hard dental tissues higher wavelengths are indicated while for soft tissues there are more choices. Low level laser therapy uses lasers of lower wavelengths for the healing process of soft tissues. In conclusion, Laser Dentistry evolves rapidly and constantly. Dentists have to choose between a great variety of laser types and wavelengths. Therefore, they should be aware of the available choices to be able to compare different types of lasers and to end up with the most suitable choice for each clinical case. Finally, it is essential to be aware of the necessary guidelines regarding safety.

Key words: Dental lasers, hard dental tissues, soft oral tissues, low level laser therapy, safety guidelines.

Εισαγωγή

Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 ο Maiman δημοσίευσε μία μελέτη για την επίδραση του laser ρουβιδίου (ruby laser) στους οδοντικούς ιστούς. Το αποτέλεσμα της πρώτης αυτής προσπάθειας δεν ήταν το αναμενόμενο καθώς παρατηρήθηκαν επιφανειακά κατάγματα και θερμικές βλάβες στην αδαμαντίνη και την οδοντίνη. Στη συνέχεια, οι κλινικοί άρχισαν να αξιοποιούν την ενέργεια του laser σε επεμβάσεις στους μαλακούς ιστούς. Το 1977 πραγματοποιήθηκε η πρώτη ανακοίνωση επιτυχούς εφαρμογής του laser στην στοματική κοιλότητα από τους Shafir και Slutzki, ενώ το 1989 κατασκευάστηκε η πρώτη συσκευή laser για χρήση στην οδοντιατρική. Η συσκευή αυτή δεν ήταν παρά ένα Nd:YAG laser (γρανάτη, υτρίου-αργιλίου με πρόσμειξη νεοδυμίου), ισχύος 3W. Έκτοτε, η Οδοντιατρική με laser προχωρά με αλητάωδεις ρυθμούς¹.

Ο όρος LASER αποτελεί ακρωνύμιο των λέξεων **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation** δηλαδή **Ενίσχυση Φωτός με Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας**. Όταν η ακτινοβολία που παράγεται από το laser ανήκει στο ορατό φάσμα, τότε αυτό αποτελεί έναν ενισχυτή φωτός, ενώ όταν η ακτινοβολία που παράγεται βρίσκεται στο υπεριώδες ή υπέρυθρο φάσμα, τότε το laser αποκτά το ρόλο ενός ενισχυτή ακτινοβολίας.

Μία συσκευή laser περιέχει μία οπτική κοιλότητα ή οπτικό αντηχείο, όπως ονομάζεται διαφορετικά, η οποία περιέχει το ενεργό μέσο. Το ενεργό μέσο μπορεί να είναι στερεάς μορφής (π.χ. ένας κρύσταλλος ή ένα φύλλο σιλικόνης), αέριο ή ημιαγωγός. Επιπλέον, υπάρχει μία πηγή ενέργειας/ισχύος, την οποία μπορεί να αποτελεί ένα ηλεκτρικό πεδίο (ηλεκτρικό ρεύμα), μία ριχνία υψηλής έντασης, ραδιοκύματα, μικροκύματα, κάποιο άλλο laser ή ακόμη και κάποια χημική αντίδραση.

Σε κάθε άκρο της οπτικής κοιλότητας που μπορεί να είναι ένας κυλινδρικός κρύσταλλος ή ένας σωλήνας με αέριο υπάρχουν παράλληλα κάτοπτρα. Το ένα κάτοπτρο είναι ολικά ανακλαστικό (100%), ενώ το δεύτερο κάτοπτρο είναι 95% ανακλαστικό. Το κάτοπτρο που είναι 95% ανακλαστικό επιτρέπει την έξοδο της ακτινοβολίας από την οπτική κοιλότητα και την ακτινοβολήση του ιστού-στόχου. Αυτά τα κάτοπτρα επιτρέπουν στα φωτόνια να ανακλώνται και να επανεισέρχονται στο ενεργό μέσο, δημιουργώντας έτσι μία δέσμη φωτός, η οποία είναι συνεχής, ευθυγραμμισμένη και μονοχρωματική. Το μήκος κύματος της μονοχρωματικής ακτινοβολίας εξαρτάται από το ενεργό μέσο που βρίσκεται στην οπτική κοιλότητα².

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση αποσκοπεί στη μελέτη των εφαρμογών και του τρόπου λειτουργίας των σύγχρονων lasers στο πεδίο της Οδοντιατρικής, όπως επίσης και στην αναφορά κατευθυντήριων οδηγιών για την ασφαλή χρήση τους στην κλινική πράξη.

Τα Χαρακτηριστικά του Laser

Η ακτινοβολία του laser διαθέτει 4 κύρια χαρακτηριστικά:

Μονοχρωματικότητα: Με τον όρο αυτό εννοούμε ότι η δέσμη της ακτινοβολίας χαρακτηρίζεται από μία συγκεκριμένη τιμή μήκους κύματος και ένα μόνο χρώμα.

Συνοχή: Σε γενικές γραμμές συνοχή σημαίνει τάξη, συγχρονισμός, δηλαδή όλα τα φωτόνια που παράγονται έχουν το ίδιο μήκος κύματος και την ίδια συχνότητα και σχηματίζουν κύματα φωτός που παραμένουν συγχρονισμένα (στην ίδια φάση)^{3,4}.

Ευθυγράμμιση/Παράλληλη Δέσμη: Όλα τα εκπεμπόμενα κύματα φωτονίων είναι σχεδόν παράλληλα και η απόκλιση της δέσμης της ακτινοβολίας είναι πολύ μικρή^{4,5}. Το φως από ένα laser αερίου είναι σχεδόν παράλληλο, ενώ το φως από ένα διοδικό laser σχηματίζει συνήθως μία πιο αποκλίνουσα δέσμη.

Μεγάλη Ένταση: Κάθε είδος laser χαρακτηρίζεται από μεγάλη ένταση λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης φωτονίων σε μία μικρή, σχεδόν σημειακή εστία.

Η μονοχρωματικότητα και η συνοχή αποτελούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας του laser που το διαφοροποιούν μάλιστα από το ορατό φως. Από την άλλη, το φως του laser δεν είναι απαραίτητο να είναι παράλληλο ή ιδιαίτερα έντονο, ωστόσο τα δύο αυτά χαρακτηριστικά είναι πολύ σημαντικά όσον αφορά τη χρήση του laser ως χειρουργικό εργαλείο. Αυξάνοντας την παραλληλότητα των ακτίνων που εκπέμπει το laser, μία διαδικασία που ονομάζεται ευθυγράμμιση (collimation) μπορούμε να επιτύχουμε από απόσταση μεγάλη πυκνότητα ισχύος σε μία μικρή επιφάνεια⁵.

Τρόπος Λειτουργίας του Laser

Όταν ένα φωτόνιο, με ένα κατάλληλο ποσό ενέργειας που προέρχεται από την πηγή ισχύος/ενέργειας, εισέρχεται στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο ενός διεγερμένου ατόμου (που έχει ήδη συσσωρευμένη ενέργεια), τότε ένα μέρος της ενέργειας εκπέμπεται δημιουργώντας ένα νέο πανομοιότυπο φωτόνιο. Το πρώτο φωτόνιο δεν έχει απορροφηθεί, οπότε τόσο το νέο όσο και το παλιό φωτόνιο μπορούν με τη σειρά τους να εξαναγκάσουν άλλα διεγερμένα άτομα στο μέσο ενίσχυσης του laser να εκπέμψουν την αποθηκευμένη τους ενέργεια. Πρόκειται ουσιαστικά για μία αλυσιδωτή αντίδραση. Τα φωτόνια της ακτινοβολίας του laser έχουν όλα το ίδιο ακριβώς ενεργειακό φορτίο⁵. Μία άλλη έννοια η οποία επιβάλλεται να αναφερθεί είναι αυτή της χρωμοφόρας ουσίας ή χρωμοφόρου. Το χρωμοφόρο αποτελεί μία ουσία ή ένα στοιχείο του ιστού-στόχου που λειτουργεί ως πόλος έλξης των φωτονίων του laser. Είναι δηλαδή η ουσία εκείνη, η οποία απορροφά εκλεκτικά τα περισσότερα φωτόνια σε έναν ιστό. Για κάθε laser υπάρχει διαφορετικό χρωμοφό-

ρο. Για παράδειγμα για το laser ερβίου (Er:YAG laser) το κύριο χρωμοφόρο είναι το νερό⁶. Όταν ένας ιστός ακτινοβοληθεί παρατηρούνται 4 τύποι αλληλεπίδρασης:

1. Διάδοση της ακτινοβολίας: Η προσπίπτουσα ακτινοβολία περνά μέσα από τους ιστούς χωρίς να αλληλεπιδρά.

2. Σκέδαση της ακτινοβολίας: Στη σκέδαση η ακτινοβολία του laser αλληλεπιδρά μερικώς με τους ιστούς. Με την απόσταση μειώνεται η ένταση της φωτεινής ενέργειας, χωρίς όμως να εξασθενίζει πλήρως η δέσμη της ακτινοβολίας, ενώ μετά την πρόσπτωσης της στην επιφάνεια των ιστών, η δέσμη αλληλάζει κατεύθυνση.

3. Ανάκλιση της ακτινοβολίας από τον ιστό: Όταν η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας είναι μικρότερη από τη γωνία διάθλασης, το αποτέλεσμα είναι η ανάκλιση της ακτινοβολίας.

4. Απορρόφηση της ακτινοβολίας: Η ενέργεια της προσπίπτουσας φωτεινής δέσμης εξασθενείται από τους ιστούς και μετατρέπεται σε άλλη μορφή ενέργειας, π.χ. θερμότητα^{7,8}.

Οι κυριότερες αλληλεπιδράσεις του laser με τους μαλακούς ιστούς της στοματικής κοιλότητας είναι η απορρόφηση και η σκέδαση της ακτινοβολίας⁸. Τα περισσότερα φωτόνια διεισδύουν στον ιστό και η διείσδυση τους έχει να κάνει με τις οπτικές ιδιότητες του βιολογικού ιστού, όπως είναι ο δείκτης διάθλασης, ο δείκτης σκέδασης και ο ανισοτροπικός παράγοντας. Αυτές οι οπτικές ιδιότητες καθορίζουν την αλληλεπίδραση του laser με τους ιστούς. Το μήκος κύματος επηρεάζει την συμπεριφορά του κάθε laser και αποτελεί το βασικό κριτήριο για την ταξινόμησή τους, διότι η μοριακή απορρόφηση εξαρτάται από αυτό. Η απορρόφηση συμβαίνει λόγω της ύπαρξης ενδογενών μορίων τα οποία απορροφούν τα μήκη κύματος του laser. Τα μόρια αυτά όπως προαναφέρθηκε ονομάζονται χρωμοφόρα. Τα διάφορα μήκη κύματος απορροφώνται από διαφορετικά μόρια. Τα κύρια χρωμοφόρα των ιστών της στοματικής κοιλότητας είναι οι πορφυρίνες, η αιμοσφαιρίνη, η μελανίνη, η φλαβίνη, η ρετινόλη, τα νουκλεϊκά οξέα (DNA και RNA), το νερό και ο υδροξυαπατίτης⁹.

Η απορρόφηση από τον ιστό-στόχο επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι ο τρόπος λειτουργίας του laser (συνεχής ή παλμική εκπομπή ακτινοβολίας), η ισχύς του, η πυκνότητα ισχύος (watt/cm^2) (όσο μικρότερη είναι η διάμετρος της δέσμης τόσο μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται), η μετακίνηση της δέσμης σε σχέση με τον ιστό-στόχο (η γρήγορη μετακίνηση της δέσμης πάνω στον ιστό προκαλεί μείωση της συσσωρευμένης θερμοκρασίας και θερμική χαλάρωση) και η παρουσία κάποιου ψυκτικού μέσου είτε ενδογενούς (π.χ. η κυκλοφορία του αίματος) είτε εξωγενούς (νερό ή αέρας). Άλλοι δευτερογενείς παράγοντες είναι η σύσταση και το πάχος του ιστού-στόχου, η επιφανειακή διαβροχή του ιστού (wettability), το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, η γωνία της προσπίπτουσας

ακτινοβολίας, ο χρόνος έκθεσης στην ακτινοβολία και ο τρόπος λειτουργίας του laser (αν λειτουργεί εξ'επαφής ή εξ'αποστάσεως)^{7,1}.

Όλα τα οδοντιατρικά lasers οφείλουν το κλινικό τους αποτέλεσμα στην απορρόφηση της ακτινοβολίας τους από την επιφάνεια-στόχο. Η επιφάνεια αυτή μπορεί να είναι σκληρή, όπως για παράδειγμα οι σκληροί οδοντικοί ιστοί (οδοντίνη, αδαμαντίνη, οστέιν), τρυγία, οστό, αποκαταστάσεις σύνθετης ρητίνης και κεραμικές αποκαταστάσεις ή μαλακοί ιστοί (ούλλα, στοματικός βλεννογόνο, χαλινόι, επουλίδες, καλοήθεις βλάβες, όπως θηλώματα ή ινώματα). Τα lasers λειτουργούν παράγοντας κύματα από φωτόνια. Η απορρόφηση των φωτονίων οδηγεί σε ενδοκυτταρική ή/και διακυτταρική αλληλαγή για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ta Είδη Laser

Τα lasers παίρνουν το όνομά τους από τα χημικά στοιχεία ή μόρια που αποτελούν τον πυρήνα τους (ενεργό μέσο). Αυτό το ενεργό μέσο διατηρεί τα ειδικά για κάθε laser διεγερμένα ιόντα και μπορεί να αποτελείται από τεχνητά κατασκευασμένη κρυσταλλική ράβδο, αέριο ή ημιαγωγό. Για την ονομασία των lasers διαφορετικού μήκους κύματος τα στοιχεία αριστερά της άνω κάτω τελείας αναφέρονται στα διεγερμένα ιόντα, ενώ δεξιά στο ενεργό μέσο. Για παράδειγμα, το laser ερβίου περιέχει ενεργό μέσο από κρυσταλλική ράβδο που περιέχει ύτριο, αλουμίνιο και γρανάτη, η οποία είναι εξωτερικά επικαλυμμένη με ιόντα ερβίου⁶.

Τα διοδικά lasers χρησιμοποιούν ημιαγωγό που περιέχει αλουμίνιο ή ίνδιο, γάλλιο και αρσενίδιο ως ενεργό μέσο^{6,10}. Παρακάτω παρατίθενται τα πιο διαδεδομένα lasers που χρησιμοποιούνται στην Οδοντιατρική.

Laser Αργού-Argon Laser (488nm, 514nm): Εκπέμπει ακτινοβολία μπλε (488 nm) και γαλαζοπράσινου χρώματος (514 nm) και απορροφάται από κόκκινες χρωστικές και την καμφοροκινόνη. Είναι laser αερίου και το σύστημα παροχής του είναι μία οπτική ίνα. Χρησιμοποιείται στους μαλακούς ιστούς διότι έχει άριστη αιμοστατική ικανότητα, σε χειρουργικές επεμβάσεις μικρής έκτασης, σε εμφράξεις ρητίνης, λεύκανση κλπ.

Διοδικά Lasers-Diode Lasers (810-980nm): Η οπτική κοιλότητα περιέχει σαν ενεργό μέσο έναν ημιαγωγό. Απορροφάται από χρωστικές. Χρησιμοποιείται στους μαλακούς ιστούς, για περιοδοντική και ενδοδοντική θεραπεία, λεύκανση και διόρθωση αισθητικών ελαττωμάτων. Έχουν καλή αιμοστατική δράση¹⁰. Ακριβώς λόγω της ικανότητάς τους για ταχεία επούληση και αιμόσταση, αλλά και χάρη στο μικρό μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπουν, τα διοδικά lasers έχουν εφαρμογή και στη θεραπεία με Laser Χαμηλής Ενέργειας (LLLT)^{11,12}.

Laser Νεοδυμίου-Nd:YAG (1064nm): Πρόκειται για laser στερεάς μορφής που έχει σαν ενεργό μέσο έναν

κρύσταλλο Υτρίου-Αργιλίου-Γρανάτης. Η ακτινοβολία που εκπέμπει έχει πράσινο χρώμα και απορροφάται από χρωστικές. Χρησιμοποιείται για τους μαλακούς ιστούς, κατά την περιοδοντική και ενδοδοντική θεραπεία, καθώς επίσης και στην απώθηση των ούλων κατά τη λήψη αποτυπωμάτων. Έχει καλή αιμοστατική δράση¹³.

Laser Ερβίου-Χρωμίου - Er, Cr:YSGG (2790 nm): Laser στερεάς μορφής που έχει σαν ενεργό μέσο μία κρυσταλλική ράβδο από Ύτριο, Σκάνδιο, Γάλλιο και Γρανάτη. Το Laser αυτό έχει ως κύριο χρωμοφόρο του το νερό. Χρησιμοποιείται τόσο για τους σκληρούς όσο και για τους μαλακούς ιστούς. Χρησιμεύει για την αδροποίηση της αδαμαντίνης και της οδοντίνης, για την αφαίρεση της τερηδόνας, την παρασκευή ριζικών σωληνών, για τη θεραπεία της οδοντικής υπερευαισθησίας, ενώ όσον αφορά στους μαλακούς ιστούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε χαλινεκτομές, ουλεκτομές και σε περιπτώσεις χειρουργικής επιμήκυνσης μύλης. Έχουν αντιβακτηριακή και μέτρια αιμοστατική ικανότητα¹⁴.

Laser Ερβίου-Er:YAG (2940 nm): Laser στερεάς μορφής. Απορροφάται στο μέγιστο βαθμό από το νερό και σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον υδροξυαπατίτη. Βρίσκει και αυτό εφαρμογή τόσο στους σκληρούς ιστούς όσο και στους μαλακούς ιστούς. Έχουν αντιβακτηριακή δράση και μέτρια αιμοστατική ικανότητα. Στο μέλλον αναμένεται να αντικαταστήσει τις κλασσικές χειρολαβές¹⁵.

Laser Διοξειδίου του Άνθρακα-CO₂ (10600nm): Laser αερίου που απορροφάται από το νερό. Εφόσον οι μαλακοί ιστοί αποτελούνται κατά το 90-97% από νερό, αποτελεί το laser του οποίου η ακτινοβολία απορροφάται καλύτερα από οποιοδήποτε άλλο λείζερ. Έχει και αυτό άριστη αιμοστατική ικανότητα και εφαρμογή σε ουλεκτομές και εκτομές μικρών όγκων^{10,16}.

Laser Φωσφορικού-Καλίου-Τιτανίου - KTP laser (532 nm): Είναι laser στερεάς μορφής. Το ενεργό του μέσο αποτελεί ένα φωσφορικό άλας καλίου τιτανίου. Βρίσκει πολύ καλή εφαρμογή στους μαλακούς ιστούς. Η ενεργειακή του πυκνότητα ρυθμίζεται χαμηλότερα από τον ουδό του πόνου, γεγονός που καθιστά τη θεραπεία με αυτό ανώδυνη⁸.

Laser Ημιαγωγών τύπου GaAlAs: Τα μήκη κύματος συνήθως κυμαίνονται από 800 μέχρι 830 nm. Στα 800 nm η ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού μόλις που φτάνει το 1% της ευαισθησίας που έχει στα 500 nm. Ωστόσο, σε ένα σκοτεινό περιβάλλον το κόκκινο φως των 830 nm είναι αμυδρά ορατό. Βρίσκει εφαρμογή σε τραύματα στο δέρμα και το βλεννογόνο που είναι δύσκολο να θεραπευτούν. Άλλες ενδείξεις είναι η ρευματοειδής αρθρίτιδα, οι μυϊκές συμφύσεις (σε μικρές κατά προτίμηση αρθρώσεις), ο πόνος, καθώς και διάφορες στοματικές παθήσεις¹⁷.

Υπάρχουν και άλλες κατηγορίες laser που βρίσκουν εφαρμογή στην Ιατρική, αλλά η αναφορά τους ξεπερνά τον σκοπό αυτής της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Τα lasers στην Οδοντιατρική εκπέμπουν σε μήκη κύματος

μεταξύ 488-10600 nm, μήκη τα οποία ανήκουν στην μη ιονίζουσα και μη μεταλλαξιογόνο ακτινοβολία. Κάποια lasers εκπέμπουν ορατό φως: το laser αργού έχει μπλε χρώμα στο μήκος κύματος 488 nm και γαλαζοπράσινο στα 514 nm. Το laser νεοδυμίου έχει πράσινο χρώμα και εκπέμπει σε μήκος κύματος 1064 nm, τα Lasers Χαμηλής Ενέργειας-LLL (μη χειρουργικής θεραπείας) έχουν κόκκινο χρώμα και μήκη κύματος 635 και 655 nm. Τα υπόλοιπα lasers εκπέμπουν μη ορατό φως στο εγγύς, μέσο και άπω τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Παρόλο που ο κλινικός έχει τη δυνατότητα να ελέγχει κάποιους παράγοντες που επηρεάζουν την αλληλεπίδραση των lasers με τους ιστούς, τα μοναδικά χαρακτηριστικά κάθε μήκους κύματος για το συγκεκριμένο laser και οι εγγενείς ιδιότητες κάθε ιστού-στόχου παραμένουν ανεξάρτητοι παράγοντες από τον χειριστή. Υπό τον έλεγχο του οδοντιάτρου βρίσκονται η ρύθμιση της ισχύος (πυκνότητα ισχύος), η συνολική ισχύς που δέχεται κάποια επιφάνεια ιστού (πυκνότητα ενέργειας ή ροή), ο βαθμός και η διάρκεια έκθεσης (συνεχής ή παλμική), η διάρκεια και η συχνότητα των παλμών και ο τρόπος με τον οποίο η ενέργεια μεταφέρεται στον ιστό (εξ' επαφής ή εξ' αποστάσεως).

Τα διάφορα μήκη κύματος έχουν διαφορετικό συντελεστή απορρόφησης από τους ανθρώπινους ιστούς. Το μόριο του νερού αλληλεπιδρά περισσότερο με τα μήκη κύματος των lasers ερβίου και δευτερευόντως με το laser CO₂. Αντίστροφα, τα lasers που έχουν μικρότερα μήκη κύματος όπως το laser αργού, το διοδικό laser και το laser νεοδυμίου έχουν μεγάλο συντελεστή διάδοσης στο νερό. Η ακτινοβολία του CO₂ laser και του laser ερβίου απορροφάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον απατίτη που σχηματίζει τη δομή των δοντιών και των οστών. Το laser αργού, τα διοδικά lasers και το laser νεοδυμίου παρουσιάζουν μεγάλη απορρόφηση από στοιχεία του αίματος όπως η αιμοσφαιρίνη, χρωστικές ιστών π.χ. μελανίνη, ενώ τα μεγάλα μήκη κύματος απορροφώνται ελάχιστα. Το βάθος διαπερατότητας στους ιστούς επίσης διαφέρει ανάλογα με το μήκος κύματος. Η ακτινοβολία των lasers ερβίου ουσιαστικά απορροφάται από την επιφάνεια των ιστών, ενώ η ακτινοβολία του CO₂ laser μπορεί να διαδοθεί σε βαθύτερα στρώματα των ιστών (1.6 mm). Οι σκληροί οδοντικοί και μαλακοί ιστοί αποτελούν συνδυασμό των προαναφερθέντων αυτών ουσιών. Κατά κανόνα το «καλύτερο» laser για τους σκληρούς ιστούς βρίσκεται στην οικογένεια των lasers ερβίου λόγω της ελάχιστης αύξησης της θερμοκρασίας που προκαλούν στον ιστό-στόχο, ενώ για τη θεραπεία των μαλακών ιστών ο κλινικός έχει μεγάλη ποικιλία επιλογής μήκους κύματος¹⁸.

Θεραπεία με Laser Χαμηλής Ενέργειας (Low Level Laser Therapy -LLLT)

Η θεραπεία με Laser Χαμηλής Ενέργειας [Low Level Laser Therapy -LLLT) που εναλλακτικά ονομάζεται «Φω-

τοβιοδιέγερση» αποτελεί μία μορφή φωτοθεραπείας που περιλαμβάνει την εφαρμογή μίας μονοχρωματικής και συνεχούς δέσμης ακτινοβολίας σε βλάβες ιστών και τραύματα προκειμένου να προαχθεί η διαδικασία της επούλωσης. Το φάσμα λειτουργίας σε μήκη κύματος κυμαίνεται από 630-980nm^{11,12}. Τα lasers χαμηλής ενέργειας πέρα από το γεγονός ότι επιταχύνουν την ιστική επούλωση και περιορίζουν την αιμορραγία συμβάλλοντας στην αιμόσταση, ταυτόχρονα μειώνουν τον πόνο εξαλείφοντας την ανάγκη εφαρμογής τοπικής αναισθησίας^{19,20}. Όταν η ακτινοβολία χαμηλής ενέργειας απορροφηθεί από τα κύτταρα, απομακρύνεται το νιτρικό οξείδιο από την αναπνευστική αλυσίδα των μιτοχονδρίων και διεγείρεται η παραγωγή ATP που αποτελεί το ενεργειακό δυναμικό των κυττάρων. Το μόριο ATP με τη σειρά του ενισχύει τη σύνθεση των μορίων DNA και RNA²¹, ενώ πυροδοτεί μια σειρά δευτερογενών αντιδράσεων, όπως αύξηση του πολλαπλασιασμού των ινοβλαστών και της σύνθεσης του κολλαγόνου, αύξηση της ικανότητας πολλαπλασιασμού των περιφερικών λεμφοκυττάρων, ενίσχυση της φαγοκυτταρικής δραστηριότητας των μακροφάγων, παραγωγή β-ενδορφινών, μείωση της αγωγιμότητας των C-νευρικών ινών και της απελευθέρωσης ισταμίνης, βραδυκινίνης, ουσίας P, ακετυλοχολίνης. Έτσι, εξηγείται η αιμοστατική, αναλγητική και αντιφλεγμονώδης δράση του^{22,23}.

Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Lasers

Η εφαρμογή των lasers στην Οδοντιατρική συνοδεύεται από ορισμένα πλεονεκτήματα, τα κυριότερα από τα οποία είναι η απουσία πόνου και πρόκλησης αιμορραγίας. Αυτό το γεγονός εξασφαλίζει ένα καθαρό χειρουργικό πεδίο, διευκολύνει την επίτευξη ακρίβειας στις τομές και στις περισσότερες περιπτώσεις εξαλείφει την ανάγκη αναισθησίας. Επιπρόσθετα, ο κίνδυνος λοίμωξης είναι μειωμένος, καθότι τα lasers έχουν βακτηριοκτόνο δράση και έτσι εξασφαλίζουν καλύτερη και ταχύτερη επούλωση. Επίσης, στις περισσότερες περιπτώσεις δεν υπάρχει μετεγχειρητική δυσφορία, πόνος και οίδημα και επομένως συνήθως δε χρειάζεται φαρμακευτική αγωγή. Όλα αυτά συμβάλλουν στην ευκολότερη αποδοχή της οδοντιατρικής θεραπείας από τους ασθενείς^{13,15}.

Παρόλα αυτά, η εφαρμογή των lasers στην Οδοντιατρική εμφανίζει ορισμένους περιορισμούς και μειονεκτήματα. Τα lasers δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή δοντιών που πρόκειται να δεχθούν προσθετικές αποκαταστάσεις, αλλά ούτε και σε δόντια με ήδη υπάρχουσες εμφράξεις. Ακόμα, ο εξοπλισμός έχει μεγάλο κόστος και ως επακόλουθο αυξάνεται και το κόστος της θεραπείας, ενώ δεν υπάρχει ένα μήκος κύματος που να μπορεί να προσφέρει βέλτιστη θεραπεία για όλους τους ιστούς. Τέλος, λόγω της πολύπλοκης λειτουργίας και των διαφόρων παραμέτρων που έχουν τα lasers, κα-

θίσταται αναγκαία η επαρκής εκπαίδευση και εξάσκηση του επεμβαίνοντα^{13,15}.

Ασφάλεια στη χρήση των Lasers

Με βάση τα όσα παρατέθηκαν και αναλύθηκαν παραπάνω, τα lasers αποτελούν συσκευές με πληθώρα λειτουργικών παραμέτρων και προδιαγραφών, που εάν δεν γίνουν κατανοητά και εφαρμόσιμα από τον οδοντίατρο που τα χρησιμοποιεί, ενέχεται κίνδυνος πρόκλησης βλαβών και ατυχημάτων. Το Αμερικανικό Εθνικό Ίδρυμα Προτυποποίησης (American National Standards Institute - ANSI) έχει ταξινομήσει τα lasers σε 4 κατηγορίες^{24,25}:

Κατηγορία I: Αυτή η κατηγορία χωρίζεται στις υποκατηγορίες I και IM, που εμφανίζουν ως μέγιστη ισχύ τα 40μW και 400μW αντίστοιχα. Τα lasers της κατηγορίας αυτής δεν εκπέμπουν επιβλαβή για τα μάτια ακτινοβολία. Η δέσμη μπορεί να γίνει δυνητικά επικίνδυνη αν κοιτάζεται με οπτικό εργαλείο όπως λούπες, κάμερα ή μικροσκόπιο.

Κατηγορία II: Τα lasers αυτής της κατηγορίας, χωρίζονται στις υποκατηγορίες II και IIM και εκπέμπουν σε μήκη κύματος 400-700nm. Η μέγιστη ισχύς για τα lasers της τάξης II είναι 1mW. Η αντίδραση του οφθαλμού να αποφύγει τη δέσμη και το κλείσιμο του ματιού που πιστεύεται πως επέρχεται σε λιγότερο από 0.25 δευτερόλεπτα θεωρούνται ικανά να προσφέρουν προστασία. Δεν θα πρέπει να εμποδίζεται το κλείσιμο του ματιού και η δέσμη να κοιτάζεται επίμονα. Όπως και στα lasers της πρώτης κατηγορίας θα πρέπει να αποφεύγεται η οπτική επαφή με κάποιο οπτικό εργαλείο (λούπες, κάμερες κλπ).

Κατηγορία III: Τα lasers της κατηγορίας III χωρίζονται στις υποκατηγορίες IIIR και IIIB. Τα lasers της κατηγορίας IIIR, που έχουν μέγιστη ισχύ 5mW στο ορατό φάσμα και 2mW στο μη ορατό, μπορεί να προκαλέσουν οφθαλμική βλάβη σε κάποιες περιπτώσεις, αν η δέσμη κοιτάζεται απευθείας ή σε κατοπτρική αντανάκλαση. Ωστόσο, οι πιθανότητες βλάβης είναι μικρές και δεν είναι επικίνδυνο για το δέρμα. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν και τα lasers χαμηλής ενέργειας (Low Level Lasers). Οι πιθανότητες βλάβης, όμως, αυξάνονται στην υποκατηγορία IIIB, όπου υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης φωτιάς. Τα lasers αυτής της τάξης εμφανίζουν μέγιστη ισχύ 0.5W.

Κατηγορία IV: Αυτή η τάξη περιλαμβάνει συσκευές υψηλής ισχύος > 0.5 W. Ενέχουν κίνδυνο οφθαλμικής και δερματικής βλάβης, πρόκλησης φωτιάς και διάχυτης ανάκλασης. Επίσης, μπορούν να δημιουργήσουν ρυπαρές προσμίξεις στον αέρα (laser plume). Σχεδόν όλα τα οδοντιατρικά lasers ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία (laser Αργού, laser Νεοδυμίου, laser Ερβίου-Χρωμίου, laser Ερβίου και CO₂ laser).

Ο χειρισμός των lasers κατηγορίας IIIB και κατηγορίας IV πρέπει να γίνεται αποκλειστικά από εξουσιοδοτημένο

και εκπαιδευμένο προσωπικό^{25,26}.

Η ακτινοβολία του laser μπορεί να απορροφηθεί από τους γύρω ιστούς (non-target tissues) και εάν η δέσμη είναι αρκετά ισχυρή η απορροφούμενη ενέργεια μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό. Οι πιο ευάλωτοι ιστοί στην ακτινοβολία του laser είναι τα μάτια και το δέρμα²⁷.

Ο μεγάλος αριθμός καταγεγραμμένων περιστατικών οφθαλμικών βλαβών των χρηστών του laser προδίδει την απροθυμία τους να φορούν προστατευτικά γυαλιά. Η βλάβη του ματιού από laser μπορεί να προκαλέσει κεφαλαλγίες, δακρύρροια, μυοσίες-φωτασίες σύντομα μετά από την έκθεση στην ακτινοβολία. Η βλάβη του κερατοειδή χιτώνα δημιουργεί δυσφορία, πόνο και αίσθηση ύπαρξης άμμου στο μάτι. Όρισμένα lasers, όπως το laser Ερβίου-Χρωμίου και το laser Ερβίου, μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία καταρράκτη. Η έκθεση του γυμνού οφθαλμού σε CO₂ laser μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα καυστικό πόνο και σοβαρό έγκαυμα του κερατοειδή, το οποίο μπορεί να προκαλέσει ουλές στην επιφάνεια του και μερική απώλεια όρασης. Βλάβη του αμφιβληστροειδή μπορεί να παραμείνει απαρατήρητη λόγω της απουσίας νευρικών υποδοχέων, ωστόσο αυτή μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια όρασης, αχρωματοψία, μειωμένη ικανότητα ανάγνωσης, εργασίας ή/και νυχτερινής όρασης. Για την πρόληψη των οφθαλμικών βλαβών θα πρέπει να χρησιμοποιούνται προστατευτικά γυαλιά, ειδικά ανάλογα με το μήκος κύματος του laser και να φέρουν πλευρικές ασπίδες. Ο επεμβαίνων, ο ασθενής και οι βοηθοί πρέπει να φοράνε τα προστατευτικά γυαλιά πριν από την αρχή της χρήσης του laser και καθόλη τη διάρκεια της επέμβασης²⁵.

Τα οδοντιατρικά lasers μπορεί να προκαλέσουν ένα ευρύ φάσμα δερματικών βλαβών που κυμαίνονται από υπερβολικά ξηρό δέρμα μέχρι φυσαλίδες και εγκαύματα. Τα πιο συχνά ατυχήματα συμβαίνουν όταν ο οδοντίατρος και ο βοηθός τοποθετούν τα χέρια τους μπροστά στην δέσμη του laser εν ώρα λειτουργίας. Επίσης, η δέσμη μπορεί να θερμάνει μεταλλικά εργαλεία τα οποία είναι πιθανόν να προκαλέσουν έγκαυμα στο χείλος που μπορεί να μην γίνει άμεσα αντιληπτό λόγω αναισθησίας. Όλα τα lasers ενέχουν τον κίνδυνο ανάφλεξης διαφόρων υλικών στο χειρουργικό πεδίο. Τέτοια εύφλεκτα υλικά είναι πλαστικά εργαλεία, ξύλινα γλωσσοπίεστρα, γάζες, τολύπια βάμβακος^{23,26}. Κάποιοι συγγραφείς προτείνουν την χρήση χειρουργικού καλύμματος από πολυπροπυλένιο, επειδή σε τυχαία επαφή με τη δέσμη τείνουν να λιώνουν παρά να καίγονται. Ο οδοντίατρος πρέπει να αποφεύγει να χρησιμοποιεί τοπικά αναισθητικά με βάση το αιθικόλη, γάζες εμποτισμένες με αιθικόλη διότι είναι εύφλεκτα. Στους ασθενείς πρέπει να τονίζεται να αποφεύγουν να χρησιμοποιούν προϊόντα χειλιών με γυαλιστερή υφή, βαζελίνη και προϊόντα με βάση το λάδι ειδικά αν το laser

χρησιμοποιείται για την θεραπεία επιχείλιου έρπητα²⁸.

Από όλους τους κινδύνους που σχετίζονται με την χρήση των lasers ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας έχει τις μεγαλύτερες πιθανότητες να αποβεί μοιραίος. Μπορεί να προκληθεί κατά την προσπάθεια διάνοιξης της οπτικής κοιλότητας του laser από μη εκπαιδευμένους και έμπειρους χειριστές ή από τεχνικούς που δεν ακολούθησαν τις οδηγίες ηλεκτρικής ασφάλειας. Η επαφή με τον φορτισμένο πυκνωτή που βρίσκεται εντός της οπτικής κοιλότητας του laser μπορεί να προκαλέσει ηλεκτροσοκ ή ηλεκτροπληξία. Είναι απαραίτητο η αξιολόγηση, συντήρηση και επιδιόρθωση του laser να γίνεται από κατάλληλα εκπαιδευμένους τεχνικούς.

Κατά την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας του laser με τους ιστούς παράγεται καπνός ο οποίος αποτελείται πρωτίτως από ατμό, σωματίδια τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν βακτηριακούς σπόρους, καρκινικά κύτταρα, ιούς όπως HPV, HIV και χημικά όπως υδροκυάνιο, ακρολεϊνη, φορμαλδεΰδη, βενζόλιο. Επίσης, μπορεί να περιέχει τοξικά αέρια όπως μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα και σωματίδια οργανικής ή ανόργανης ύλης. Η έκθεση σε αυτές τις προσμίξεις του αέρα που προκαλούνται από τα lasers μπορούν να οδηγήσουν σε συμπτώματα όπως βήχα, ναυτία, ρινική συμφόρηση, δακρύρροια, έμετοι, σφίξιμο στο στήθος, κοιλιακές κράμπες, αίσθημα κόπωσης. Ο κλινικός και το προσωπικό πρέπει να παίρνουν κατάλληλα μέτρα προφύλαξης: μάσκα ικανή να φιλτράρει σωματίδια μεγέθους έως 1.0μm, προστατευτικά γυαλιά, ανάλογη ενδυμασία για την προστασία τους και την πρόληψη από λοιμώξεις^{27, 28}.

Επιδράσεις στους σκληρούς οδοντικούς ιστούς

Η ακτινοβολία των δοντιών με το laser έχει σαν αποτέλεσμα την αλληλεπίδραση του φωτός με τα βιολογικά συστατικά των σκληρών οδοντικών ιστών. Όταν η ακτινοβολία απορροφηθεί από συγκεκριμένα συστατικά της αδαμαντίνης, όπως ο υδροξυαπατίτης, η ενέργεια της ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα, πυροδοτώντας μία σειρά από δομικές και χημικές μεταβολές. Οι μεταβολές αυτές επηρεάζονται από τα χαρακτηριστικά απορρόφησης των ιστών και τον τύπο του laser. Όπως προαναφέρθηκε, το κύριο χρωμοφόρο του laser ερβίου είναι το νερό, οπότε κατά την ακτινοβολία των δοντιών η ενέργεια απορροφάται εκλεκτικά από το νερό και τα ένυδρα οργανικά συστατικά της αδαμαντίνης και της οδοντίνης και γρήγορα εξατμίζεται. Η εξάτμιση του νερού συνεπάγεται μία αύξηση της εσωτερικής πίεσης στους ιστούς, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε διαδοχικές «μικροεκρήξεις». Τα δυναμικά αυτά φαινόμενα προκαλούν μηχανική κατάρρευση των ιστών κι έτσι σχηματίζεται η κοιλότητα. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως «θερμομηχανική»

ή «φωτομηχανική» εκτομή των ιστών. Κλινικά, αυτό εκλαμβάνεται σαν εκτίναξη μικροσκοπικών θραυσμάτων οδοντικού ιστού και μαζί με τη μεταβολή της πίεσης του αέρα δημιουργείται ένα ηχητικό φαινόμενο γνωστό ως "popping sound". Όσο μεγαλύτερη η περιεκτικότητα του ιστού-στόχου σε νερό τόσο πιο έντονο το ηχητικό αυτό φαινόμενο. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους κλινικούς να διακρίνουν τους τερηδονισμένους από τους μη τερηδονισμένους οδοντικούς ιστούς και να αφαιρέσουν έτσι εκλεκτικά τις τερηδονισμένες περιοχές. Η τερηδονισμένη οδοντίνη έχει περισσότερο νερό από την υγιή οδοντίνη και η οδοντίνη γενικά έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό από την αδαμαντίνη. Όσο περισσότερο νερό λοιπόν περιέχει ο ιστός-στόχος τόσο περισσότερη ακτινοβολία απορροφάται²⁹.

Η οδοντική δομή μετά την εφαρμογή του laser παρουσιάζει μία λεπιδωτή, κυματοειδή επιφάνεια που περιέχει κρατήρες. Οι McDonald και συν. σε μία *in vitro* μελέτη του 2002³⁰ διερευνώντας την επίδραση διαφόρων παραμέτρων του laser νεοδυμίου στο βάθος του κρατήρα βρήκαν ότι όσο αυξάνονται οι τιμές της ισχύος εξόδου τόσο μεγαλώνει το βάθος των κρατήρων. Η μικροσκοπική εξέταση αποκάλυψε κυκλικού σχήματος κρατήρες, των οποίων τα τοιχώματα κοντά στα χείλη εμφανίζονται είτε ανώμαλα είτε λεία. Η βάση των κρατήρων εμφανίζεται λιγότερο απανθρακωμένη, φαινόμενο που εξηγείται από το γεγονός ότι η ενέργεια του laser διαλύεται μέχρι να φτάσει στον πυθμένα του κρατήρα. Η δημιουργία κρατήρων στην οδοντική επιφάνεια αποτελεί ένα σημαντικό μειονέκτημα της χρήσης του laser στους σκληρούς οδοντικούς ιστούς³⁰.

Σε μία ακόμη *in vivo* μελέτη της Rodriguez-Vilchis και συν. (2011) παρατηρήθηκαν μορφολογικές αλλαγές στην αδαμαντίνη, οι οποίες περιλαμβάνουν το σχηματισμό αδρών επιφανειών, ρωγμών τριγωνικού σχήματος και κρατήρων. Οι περιοχές αυτές είναι επιρρεπείς στη συσσώρευση βακτηρίων με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για τη δημιουργία τερηδονικών βλαβών³¹. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε αντίφαση με άλλες μελέτες που υποστηρίζουν ότι η ακτινοβολήση των λείων επιφανειών με το laser ερβίου αυξάνει την αντίσταση της αδαμαντίνης στις επιθέσεις των οξέων³²⁻³⁶. Σύμφωνα με τον Hasnawi 2014³⁷ η ακτινοβολία του CO₂ laser δρα συνεργικά με την τοπική εφαρμογή φθοριούχου γέλης (NaF, APF) αυξάνοντας την ικανότητα διάχυσής του, με αποτέλεσμα να προάγει τη μεγαλύτερη απορρόφηση των ιόντων F- στους ακτινοβολημένους σκληρούς οδοντικούς ιστούς συγκριτικά με τους μη ακτινοβολημένους ιστούς, μειώνοντας έτσι τη διαλυτότητα της αδαμαντίνης στις επιθέσεις οξέων. Οι Stern και συν. το 1996³⁸ αναφέρουν αυξημένη αντίσταση της αδαμαντίνης στις επιθέσεις οξέων μετά την ακτινοβολήση με laser ρουβιδίου, ενώ ο Husein 2006³⁴ αναφέρει ότι η ακτινοβολήση των σκληρών οδοντικών ιστών με το laser ερβίου τροπο-

ποιεί την αναλογία ασβεστίου-φωσφόρου και μειώνει την αναλογία των ανθρακικών προς τις φωσφορικές ουσίες. Αυτές οι μεταβολές οδηγούν στον σχηματισμό περισσότερο σταθερών και λιγότερο διαλυτών στα οξέα ενώσεων, οπότε μειώνεται η ευπάθεια των οδοντικών ιστών στις επιθέσεις των οξέων και στην τερηδόνα. Σε μελέτη των Moghadam και συν. 2018, στην οποία διερευνήθηκε η επίδραση της ακτινοβολίας του διοδικού laser GaAlAs στη μικροσκληρότητα της αδαμαντίνης νεογιλών δοντιών παρατηρήθηκε ότι η ακτινοβολήση της αδαμαντίνης 4 φορές διάρκειας 20 sec με μεσοδιαστήματα διάρκειας 60 sec μειώνει την αφαλάτωση της αδαμαντίνης και περιορίζει την απώλεια μικροσκληρότητας κατά τις επιθέσεις οξέων. Επιπλέον, οι δύο εφαρμογές δεν προκάλεσαν στατιστικά σημαντικές αλλαγές. Ωστόσο, οι μελέτες που έχουν διενεργηθεί για την επίδραση των διοδικών laser στην οδοντική δομή και ειδικά στη μικροσκληρότητα της αδαμαντίνης είναι περιορισμένες και δεν έχουν εξαχθεί ακόμη ασφαλή συμπεράσματα για τον μηχανισμό αντίστασης των ακτινοβολημένων με laser επιφανειών στη δράση των οξέων³⁹.

Το laser ερβίου μπορεί να απομακρύνει επιτυχώς τους σκληρούς οδοντικούς ιστούς χωρίς να προκαλεί σημαντική άνοδο της θερμοκρασίας του πολφού. Όταν η θερμοκρασία του πολφού ξεπεράσει τους 5.5°C παρατηρείται νέκρωση του πολφού. Σε μία μελέτη των Cavalcanti και συν. (2003)⁴⁰ έγινε σύγκριση των μεταβολών της θερμοκρασίας του πολφού που προκαλούνται από τις συμβατικές χειρολαβές με αυτές που προκαλούνται από το laser ερβίου. Κάτω από την ψύξη με νερό, η αύξηση της θερμοκρασίας και στις δύο περιπτώσεις ήταν παρόμοια. Η μέγιστη τιμή αύξησης της θερμοκρασίας που παρατηρήθηκε με το laser ερβίου ήταν 4.7°C, ενώ η μέση τιμή ήταν 2.7°C, τιμές οι οποίες είναι αρκετά χαμηλότερες από την κρίσιμη θερμοκρασία για τη διατήρηση της ζωτικότητας του πολφού (5.5°C). Στη μελέτη αυτή επισημάνθηκε η σημαντικότητα του νερού ως ψυκτικού μέσου, το οποίο καθιστά την χρήση τόσο του laser όσο και της χειρολαβής ασφαλή και προστατεύει τον πολφό από μία καταστροφική άνοδο της θερμοκρασίας, ενώ ταυτόχρονα προκαλεί τη διασπορά των προϊόντων αποκοπής. Ο Raucci-Neto και συν. (2012)⁴¹ επισημαίνουν ότι η συχνότητα της ακτινοβολίας του laser επηρεάζει καθοριστικά την αύξηση της θερμοκρασίας του πολφού. Όσο μεγαλύτερη η συχνότητα της ακτινοβολίας, τόσο αυξάνεται η θερμοκρασία του πολφού. Επίσης, η θερμότητα που αναπτύσσεται επηρεάζεται και από το πάχος της εναπομένουσας οδοντίνης. Πιο συγκεκριμένα, η άνοδος της θερμοκρασίας είναι αντιστρόφως ανάλογη με το πάχος της οδοντίνης.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το laser εξαλείφει ή μειώνει την ανάγκη χορήγησης τοπικής αναισθησίας. Η ανώδυνη φύση της εργασίας με laser οφείλεται στην παροδική αναισθητική επίδραση που ασκεί στο δόντι εμποδίζοντας τη μεταβίβαση του νευρικού ερεθίσματος στην αντήλια

Na⁺/K⁺ και αποκόπτοντας τα οδοντιοσωληνάρια. Σε μία τυχαίοποιημένη μελέτη των Chan και συν. (2012)⁴² διερευνήθηκε ο μηχανισμός αναστολής του νευρικού ερεθίσματος με το παλμικό laser νεοδυμίου σε σύγκριση με την αναισθητική αλοιφή EMLA 5% και βρέθηκε ότι το laser νεοδυμίου επιφέρει αποτελεσματική πολφική αναλγησία, καταστέλλοντας την αντίδραση των ενδοπορφικών νευρών στα μηχανικά και ηλεκτρικά ερεθίσματα. Το laser λοιπόν αποτελεί μία εναλλακτική λύση για τη διαχείριση του πόνου σε ασθενείς με φοβία στις βελόνες, με αλληλεργία στα τοπικά αναισθητικά καθώς και στους παιδοδοντικούς ασθενείς⁴³. Επίσης, είναι περισσότερο ανεκτό γιατί σε αντίθεση με τις χειρολαβές δεν παράγει οξείς ήχους και προκαλεί λιγότερους κραδασμούς, μικρότερη πίεση και θερμότητα. Οι χειρολαβές υψηλών ταχυτήτων παράγουν ένα εύρος ηχητικών συχνοτήτων κοντά στο σημείο ευαισθησίας του αυτιού με αποτέλεσμα να προκαλούν πόνο και δυσφορία σε κάποιους ασθενείς⁴⁴.

Μερικοί συγγραφείς υποστηρίζουν ότι το laser μπορεί να θεραπεύσει αποτελεσματικά την υπερευαισθησία της οδοντίνης. Για τη θεραπεία της υπερευαισθησίας έχουν προταθεί τόσο τα lasers χαμηλής ισχύος, όπως το laser ημιαγωγών τύπου GaAlAs, όσο και τα lasers μέσης ισχύος, όπως το laser ερβίου, το laser νεοδυμίου, το laser φωσφορικού-καλίου-τιτανίου και το CO₂ laser. Ο μηχανισμός, με τον οποίο τα lasers χαμηλής ισχύος ελαττώνουν την υπερευαισθησία της οδοντίνης, φαίνεται να είναι η διέγερση της αντλίας Na⁺/K⁺ της κυτταρικής μεμβράνης. Η διέγερση της αντλίας επιτρέπει την είσοδο ιόντων Na⁺ προκαλώντας υπερπόλωση της κυτταρικής μεμβράνης, δηλαδή αύξηση του δυναμικού ενεργείας στο εσωτερικό του κυττάρου (το οποίο σε κατάσταση ηρεμίας είναι -70mV), αυξάνοντας τον ουδό του πόνου. Όσον αφορά τα lasers μέσης ισχύος, το laser ερβίου ελαττώνει τη διάμετρο των οδοντιοσωληναρίων και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες προκαλεί αποκοπή των οδοντιοσωληναρίων, ενώ η ακτινοβολία του laser νεοδυμίου μπορεί να τροποποιήσει προσωρινά τις απολήξεις των αισθητήριων νευρώνων και να αναστείλει τη μεταβίβαση ερεθισμάτων από τις νευρικές ίνες C και Aδ⁴⁵. Ένας άλλος πιθανός μηχανισμός δράσης του laser Nd:YAG είναι η απορρόφηση της θερμικής ενέργειας. Οι κρύσταλλοι υδροξυαπατίτη τήκονται και αποφράσσουν τα οδοντιοσωληνάρια σε βάθος 3-4μm. Τόσο το laser ερβίου όσο και το laser νεοδυμίου φαίνεται να προκαλούν απόφραξη των οδοντιοσωληναρίων⁴⁶. Σε μία μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2012 η Ehlers και συν.⁴⁷ συνέκριναν την αποτελεσματικότητα του απευαισθητοποιητή Gluma® (Kulzer) που έχει σαν βάση τη γλυουταραλδεϋδη με την αποτελεσματικότητα του laser ερβίου στην θεραπεία της αυχενικής υπερευαισθησίας της οδοντίνης και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι και οι δύο τεχνικές μειώνουν εξίσου αποτελεσματικά την υπερευαισθησία της οδοντίνης.

Επιδράσεις στους μαλακούς ιστούς

Οι μαλακοί ιστοί αποτελούνται από κολληγόνο, νερό, συνδετικό ιστό, αιμοφόρα αγγεία και λεμφαγγεία. Κάθε ένα από αυτά τα συστατικά μπορεί να λειτουργήσει δυναμικά σαν χρωμοφόρο-στόχος για την ακτινοβολία του laser. Με άλλα λόγια, η ακτινοβολία όλων των εμπορικά διαθέσιμων οδοντιατρικών lasers αλληλεπιδρά σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό με τους μαλακούς ιστούς⁴⁸.

Γενικά το laser έχει την ικανότητα να τέμνει μαλακούς ιστούς χάρη στη θερμότητα που παράγεται από την ακτινοβολία⁴⁹. Οι κυρίαρχες αλληλεπιδράσεις του laser με τους μαλακούς ιστούς της στοματικής κοιλότητας είναι η απορρόφηση και η σκέδαση⁵⁰. Όταν γίνεται απορρόφηση της ακτινοβολίας, αυξάνεται η θερμοκρασία της περιοχής που ακτινοβολείται. Οι διαφορετικές θερμοκρασίες φέρουν διαφορετικά αποτελέσματα στους ιστούς. Στους 50°C πολλά βακτήρια αδρανοποιούνται, όχι όμως οι σπόροι (non sporulating bacteria). Οι σπόροι σαν πιο ανθεκτικά βακτήρια απενεργοποιούνται σε υψηλότερες θερμοκρασίες της τάξης των 100°C και άνω⁵¹. Στους 60°C αρχίζει η πήξη και οι πρωτεΐνες αρχίζουν να μετουσιώνονται δηλαδή υπόκεινται σε μορφολογικές μεταβολές. Στους 90°C οι πρωτεΐνες και το κυτταρόπλασμα αρχίζουν να παρουσιάζουν μη αναστρέψιμες μεταβολές (συρρίκνωση ιστών) και στους 100°C εξατμίζονται το ενδοκυττάριο και μεσοκυττάριο υγρό, φράσσονται τα αιμοφόρα αγγεία της περιοχής και απελευθερώνονται παράγοντες που συμμετέχουν στην πήξη του αίματος. Με άλλα λόγια, σε θερμοκρασία βρασμού, κάθε ιστός που περιέχει νερό εξατμίζεται και έτσι πραγματοποιείται η εκτομή (αφαίρεση ιστών). Τέλος, όταν η θερμοκρασία υπερβεί τους 200°C, οι ιστοί απανθρακώνονται⁵². Για να μην προκληθεί θερμική βλάβη, επομένως, ο επεμβαίνων θα πρέπει να χρησιμοποιεί το κατάλληλο μήκος κύματος και την ελάχιστη ισχύ του laser, σε συνδυασμό με τα κατάλληλα μέτρα για μείωση της θερμοκρασίας^{49,53,54}. Τα lasers νεοδυμίου και τα διοδικά lasers, που λειτουργούν σε μικρότερο μήκος κύματος, διαπερνούν τους μαλακούς ιστούς σε μεγαλύτερο βάθος σε σύγκριση με τα lasers ερβίου, ερβίου-χρωμίου και CO₂⁵³. Για αυτό το λόγο, τα lasers μεγάλου μήκους κύματος είναι πιο ασφαλή, όσον αφορά την αποφυγή πρόκλησης βλάβης στους εν τω βάθει ιστούς⁵³. Καθώς το laser τέμνει το μαλακό ιστό, τα τριχοειδή και τα λεμφαγγεία αποφράσσονται και, ως αποτέλεσμα, επιτυγχάνεται ικανοποιητική αιμόσταση, στεγνό χειρουργικό πεδίο και οι πιθανότητες για μετεγχειρητικό οίδημα και πόνο είναι μειωμένες^{48,49,51,53,55,56}. Στη συνέχεια, μετουσιωμένες πρωτεΐνες από τον ιστό μαζί με πλάσμα σχηματίζουν ένα επιφανειακό στρώμα που προστατεύει και απομονώνει την περιοχή της επέμβασης από το υπόλοιπο στοματικό περιβάλλον, δημιουργώντας έτσι ένα άσπιο χειρουργικό πεδίο που συμβάλλει στην

ομαλή epouήλωση^{48,53,55,56}. Έχει βρεθεί, επιπλέον, ότι υπάρχει μικρότερη παρουσία ινομοβλαστών στις τομές που πραγματοποιούνται με laser, οδηγώντας σε πιο ομαλή epouήλωση χωρίς το σχηματισμό μετεχειρητικών ουλών^{55,56}. Γενικά, τα οδοντιατρικά lasers, που είναι κατάλληλα για χρήση στους μαλακούς ιστούς, είναι τα lasers νεοδυμίου, ερβίου, ερβίου-χρωμίου, τα διοδικά, αργού και τα CO₂^{53,57}, καθώς όλα τα παραπάνω είδη ενδείκνυνται για χειρουργικές επεμβάσεις στους μαλακούς ιστούς της στοματικής κοιλότητας⁵⁸.

Οι Calisir και συν. (2018)⁵⁹ σε μία μελέτη που διενήργησαν σε διαφορετικά ημιμόρια του στόματος (split-mouth), πραγματοποίησαν χαλινεκτομές με laser νεοδυμίου και με συμβατικά μέσα και παρατήρησαν ότι το laser ήταν καλύτερα ανεκτό από τους ασθενείς, χάρη στο μειωμένο πόνο, την αιμόσταση και την εξάλειψη της ανάγκης για συρραφή, όπως επίσης υπήρχε μειωμένη δυσχέρεια στη μάσηση και την ομιλία μετεχειρητικά. Ομοίως, σε μία *in vivo* μελέτη οι Uraz και συν.⁵⁸ (2018) συνέκριναν τη χαλινεκτομή με νυστέρι με τη χαλινεκτομή με διοδικό laser στα 980 nm και κατέληξαν ότι με το laser υπήρχε αιμόσταση, μειωμένος πόνος και λιγότερη μετεχειρητική δυσφορία, γεγονός που το κάνουν πιο ανεκτό από τους ασθενείς. Οι Kimoto και συν. σε μια αναδρομική μελέτη του 2017⁶⁰ διενήργησαν γήλωσση σε ασθενείς με καρκίνο, χρησιμοποιώντας CO₂ laser, και παρατήρησαν ότι μετεχειρητικά ο πόνος, η αιμορραγία και η δυσκολία κατάποσης ήταν μειωμένα. Επιπρόσθετα, τα lasers νεοδυμίου, ερβίου, ερβίου-χρωμίου, CO₂ και τα διοδικά lasers ενδείκνυνται και για τη θεραπεία αφρωδών ελκών⁵⁷. Τα οδοντιατρικά lasers μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια της περιοδοντικής θεραπείας. Αυτό οφείλεται τόσο στην αιμοστατική τους δράση, τη βελτιωμένη epouήλωση και την ελάττωση σε πόνο και δυσφορία, όσο και στην ικανοποιητική ανάπλαση των περιοδοντικών ιστών και τη μείωση του μικροβιακού φορτίου^{57,61-66}.

Τέλος, τα lasers έχουν εφαρμογή και στον τομέα της παιδοδοντίας, κυρίως χάρη στην αναλγητική τους ικανότητα, την αιμόσταση και την ομαλή και γρήγορη epouήλωση. Οι Boj και συν. το 2005⁶⁷ διερεύνησαν την ένταση του πόνου κατά τη χρήση ενός laser ερβίου-χρωμίου για την πραγματοποίηση αποκαταστάσεων και ενδοστοματικών επεμβάσεων σε παιδοδοντικούς ασθενείς και διαπίστωσαν ότι η ένταση ήταν χαμηλή στις περιπτώσεις των αποκαταστάσεων και μέτρια στα χειρουργικά περιστατικά, ενώ δεν λήφθηκαν καθόλου αναλγητικά μετεχειρητικά. Αντίστοιχα, οι Boj και συν. σε ένα περιστατικό που παρουσίασαν το 2006⁶⁸ χρησιμοποίησαν laser ερβίου-χρωμίου για την αφαίρεση μιας κύστης ανατολής σε ένα παιδί 6 ετών και παρατήρησαν ότι η epouήλωση ήταν γρηγορότερη και ομαλότερη σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους. Ακόμα, δεν χρειάστηκε να γίνει αναισθησία για τη διενέργεια της επέμβασης, πέρα από τοπική εφαρμο-

γή επιφανειακού αναισθητικού στο βλεννογόνο, και δεν χρειάστηκε να δοθεί αναλγητική ή αντιβιοτική αγωγή μετεχειρητικά.

Συζήτηση- Συμπεράσματα

- Τα lasers αποτελούν συσκευές εκπομπής ακτινοβολίας που μπορεί να εντάσσονται είτε στο ορατό είτε στο υπεριώδες φάσμα. Το φως που παράγουν είναι αποτέλεσμα μιας αλυσιδωτής αντίδρασης μεταξύ φωτονίων και έχει τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά (μονοχρωματικότητα, συνοχή, ευθυγράμμιση και υψηλή ένταση). Τα φωτόνια απορροφώνται από τις χρωμοφόρες ουσίες των ιστών, οι οποίες διαφέρουν για κάθε είδος laser. Η ακτινοβολία μπορεί να απορροφηθεί, να ανακλαστεί, να σκεδαστεί ή να διαδοθεί μέσα από τους ιστούς. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την αλληλεπίδραση μεταξύ laser και ιστών, όπως οι οπτικές ιδιότητες και τα χρωμοφόρα του ιστού, το μήκος κύματος, η ισχύς, η πυκνότητα ισχύος και ο τύπος εκπομπής της ακτινοβολίας, ο χρόνος έκθεσης, κ.α. Ορισμένοι μόνο από αυτούς τους παράγοντες μπορούν να ελεγχθούν από το χειριστή.

- Σήμερα στο εμπόριο υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία ειδών laser. Τα είδη όμως που χρησιμοποιούνται ευρύτερα στην οδοντιατρική είναι τα διοδικά lasers, τα lasers αργού, ερβίου, ερβίου-χρωμίου, νεοδυμίου, CO₂, φωσφορικού-καλίου-τιτανίου και τα lasers ημιαγωγών τύπου GaAlAs. Κάθε τύπος laser διαθέτει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Τα οδοντιατρικά lasers εκπέμπουν σε διαφορετικά μήκη κύματος, τα οποία κυμαίνονται μεταξύ 488 και 10600nm. Κάθε μήκος κύματος βρίσκει διάφορες εφαρμογές και δεν υπάρχει συσκευή laser που να καλύπτει πλήρως κάθε οδοντιατρική επέμβαση.

- Μία ιδιαίτερη εφαρμογή του laser είναι η θεραπεία με Laser Χαμηλής Ενέργειας. Αφορά σε είδη laser που εκπέμπουν σε μήκη κύματος 630-980nm και αποσκοπεί στην epouήλωση των μαλακών ιστών μέσω της ακτινοβόλησης με μία μονοχρωματική και συνεχή δέσμη φωτός. Η ακτινοβολία χαμηλής ενέργειας προκαλεί την παραγωγή ATP από τα κύτταρα του ιστού, το οποίο στην πορεία ενισχύει τη σύνθεση DNA και RNA και προκαλεί διάφορες δευτερεύουσες αντιδράσεις, που συνολικά προσδίδουν στα lasers αυτής της κατηγορίας την αιμοστατική, αναλγητική και αντιφλεγμονώδη δράση τους.

- Οι διάφοροι τύποι laser έχουν επίσης διαφορετικό συντελεστή απορρόφησης από τους ιστούς. Ως επακόλουθο, υπάρχουν κάποια είδη που ενδείκνυνται για χρήση σε μαλακά μόρια και κάποια για σκληρούς ιστούς. Τα lasers με μεγάλο μήκος κύματος έχουν καλύτερη εφαρμογή στους σκληρούς ιστούς, με τα lasers ερβίου να θεωρούνται τα πλέον ιδανικά, ενώ για τους μαλακούς ιστούς υπάρχουν περισσότερες επιλογές. Για κάθε κλινική περίπτωση ο κλινικός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του το μήκος κύματος, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτή-

ματα της τεχνικής για τον συγκεκριμένο ιστό-στόχο, την εξοικειώσή του με τη συσκευή laser, αλλά και το πόσο εφικτή είναι η θεραπεία για κάθε ασθενή. Ανάλογα με τις παραμέτρους και τα χαρακτηριστικά κάθε τύπου laser, αλλά και με το είδος του ιστού που πρόκειται να ακτινοβοληθεί, επιλέγεται το κατάλληλο laser, καθώς οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους διαφέρουν. Σε ότι αφορά τους σκληρούς οδοντικούς ιστούς, τα lasers που βρίσκουν εφαρμογή είναι τα lasers ερβίου, ερβίου-χρωμίου, νεοδυμίου και CO₂. Η εκτομή των σκληρών ιστών βασίζεται στο γεγονός ότι η ακτινοβολία του laser αλληλεπιδρά με τα βιολογικά συστατικά τους και το περιεχόμενο νερό, τροποποιώντας έτσι τη δομή και τη σύστασή τους. Αν και το laser καταλείπει μία αδρή οδοντική επιφάνεια με κρατήρες, ορισμένοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι έχει παράλληλα την ικανότητα να αυξάνει την αντοχή της αδμαντίνης στα οξέα. Υπάρχει όμως επιτακτική ανάγκη για διεξαγωγή περισσότερων μελετών που να αποδεικνύουν αυτή τη δράση τους. Μία ακόμη σημαντική παράμετρος είναι οι μεταβολές στη θερμοκρασία του πολφού. Το laser ερβίου συγκεκριμένα δεν προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας σε βλαπτικά επίπεδα. Αυτό όμως καθορίζεται και από άλλους παράγοντες, όπως το πάχος των ιστών και τη συχνότητα ακτινοβολήσης. Το laser εμφανίζει επίσης αναλγητική δράση, μιας και παρεμποδίζει προσωρινά τη μετάδοση των ερεθισμάτων του πόνου. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί η ικανότητα που έχουν τόσο τα lasers χαμηλής ισχύος όσο και τα lasers μέση ισχύος να μειώνουν σε σημαντικό βαθμό την οδοντική υπερευαισθησία.

- Σχετικά με τους μαλακούς ιστούς, τα οδοντιατρικά lasers που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα lasers νεοδυμίου, ερβίου, ερβίου-χρωμίου, τα διοδικά, αργού, και CO₂. Οι συχνότερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ μαλακών ιστών και laser είναι η σκέδαση και η απορρόφηση. Οι ιδιότητες των οδοντιατρικών lasers που τα καθιστούν κατάλληλα για χρήση στους μαλακούς ιστούς, είναι η αιμόσταση, η αναλγητική δράση, η αντισηψία, η ομαλή και ταχεία επούλωση, αλλά και η απουσία σχηματισμού μετεχειρητικών ουλών. Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στο να γίνει η διαδικασία πιο ανεκτή από τους ασθενείς.

- Λόγω της πολυπλοκότητας των συσκευών laser, το προσωπικό θα πρέπει να είναι εκπαιδευμένο και να λαμβάνει τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας. Διαφορετικά, ελλοχεύει ο κίνδυνος πρόκλησης βλάβης τόσο στους ιστούς-στόχους, όσο και στους παρακείμενους ιστούς. Για την αποφυγή οφθαλμικών βλαβών, το προσωπικό και οι ασθενείς οφείλουν να φέρουν προστατευτικά γυαλιά. Επιπλέον, ο γιατρός και οι βοηθοί θα πρέπει να φέρουν προστατευτική μάσκα και να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα για να μην ακτινοβοληθούν άλλοι ιστοί, όπως είναι το δέρμα και τα χείλη, αλλά και να μην προκληθεί ανάφλεξη διαφόρων υλικών του χειρουργικού πεδίου.

Βιβλιογραφία

1. Coluzzi DJ, Convissar RA. Atlas of Laser Applications in Dentistry. London: Quintessence Publishing Co Inc. ed.2007; viii
2. Widgor H. Basic Physics of Laser Interaction with Vital Tissue. Alpha Omegan 2008;101(3):127-32
3. Thukral N. Lasers in General Dental Practice. Solaze J Laser Dent 2007;1(1):11-3
4. Singh H, Bhaskar DJ, Agali CR, Rehman R, Dalai DR. Lasers: An Emerging Trend in Dentistry. Int J Adv Health Sci 2014;1(4):5-13
5. Tunér J, Hode L. Θεραπευτική με Laser. Εκδόσεις Οδοντιατρικό Βήμα. 2008:24-31
6. Lomke MA. Clinical applications of dental lasers. Gen Dent. 2009 Jan-Feb;57(1):47-59
7. Parker S. Verifiable CPD paper: Laser-Tissue Interaction. Br Dent J. 2007 Jan 27;202(2):73-81
8. Pang P, Andreana S, Aoki A, Coluzzi D, Obeidi A, Olivi G, et al. Laser Energy in Oral Soft Tissue Applications. J Laser Dent 2010;18(3):123-131.
9. Steiner R. Laser and IPL Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine. Chapter 2: Laser-tissue interactions. Raulin C, Karsai S (eds). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2011;22-36
10. Sulliman M. An Overview of the Use of Lasers in General Dental Practice: 2. Laser Wavelengths, Soft and Hard Tissue Clinical Applications. Dent Update 2005 Jun;32(5):286-8, 291-4, 296.
11. Carroll JD, Milward MR, Cooper PR, Hadis M, Palin WM. Developments in low level light therapy (LLLT) for dentistry. Dental Materials. 2014; 30(5): 465-475.
12. Elson N, Foran D. Low Level Laser Therapy in Modern Dentistry. Periodon Prosthodont. 2015; 1: 1-2
13. Bali KS, Naqash TA, Abdullah S, Mir S, Nazir S, Nazir N, et al. Applications of Lasers in Prosthodontics. International Journal of Clinical Dental Science. 2012 Sep;3(2):66-70
14. Adhikari HD, Saha B, Mazumder D. Er,Cr:YSGG laser & its clinical application. J Dent Lasers 2010;4:6-13
15. Wadhawan R, Solanki G, Bhandari A, Rathi A, Dash R. Role of Laser Therapy in Dentistry: A Review. Int J Biomed Res. 2014; 5(3): 153-7
16. Convissar RA. The Top Ten Myths About CO2 Lasers in Dentistry. Dent Today. 2009; 28(4): 69,70,72-6
17. Tunir J, Hode L. Θεραπευτική με Laser. Εκδόσεις Οδοντιατρικό Βήμα. 2008: 45-48
18. Coluzzi DJ. Lasers in dentistry – wonderful instruments or expensive toys? International Congress Series. 2003;1248(2):83-90
19. Metin R, Tatli U, Evlice B. Effects of low-level laser therapy on soft and hard tissue healing after endodontic surgery. Lasers Med Sci. 2018 Nov; 33(8): 1699-1706.
20. Fekrazad R, Chiniforush N, Kalhori K. All done procedure by laser in free gingival graft treatment: A case series study. J Cosmet Laser Ther. 2018 Feb 16: 1-7.
21. Arbabi-Kalati F, Arbabi-Kalati F, Moridi T. Evaluation of the Effect of Low Level Laser on Prevention of Chemotherapy-Induced Mucositis. Acta Med Iran. 2013 Apr 6; 51(3):157-62
22. Ross G, Ross A. Low Level lasers in dentistry. Gen Dent 2008 Nov-Dec;56(7):629-34
23. Walsh LJ. The current status of low level laser therapy in dentistry. Part 1. Soft tissue applications. Aust Dent J. 1997 Aug;42:(4):247-54.
24. Singh S, Gambhir RS, Kaur A, Singh G, Sharma S, Kakar H. Dental lasers: A Review of Safety Essentials. J Lasers Med Sci 2012; 3(3): 91-6.
25. Sweeney C. Laser safety in dentistry. Gen Dent. 2008 Nov-Dec;56(7):653-9.

26. Parker S. Laser regulation and safety in general dental practice. *Br Dent J.* 2007 May 12;202(9):523-32
27. Chivte P, Deshmukh V. Hazards of laser surgery. *J Dent Lasers.* 2007;1(1):24-32.
28. Subramanian D. Laser: "The right way". *J Dent Lasers.* 2007; 1(1):22-3
29. Contreras-Bulnes R, Olea-Mejia O, Rodriguez-Vilchis LE, Scougall-Vilchis RJ, Centeno-Pedraza C. Structural Changes on Human Dental Enamel Treated with Er:YAG, CO2 Lasers and Reinerizing Solution: EDS Analysis. Ed: Mandeep Singh Viridi. *Oral Health Care- Prosthodontics, Periodontology, Biology, Research and Systemic Conditions.* InTech, 2012:299-318.
30. McDonald AV, Claffey NM, Pearson GJ, Blau W, Setchell DJ. Effect of Nd:YAG Radiation at Millisecond Pulse Duration on Dentine Crater Depth. *Lasers Surg Med.* 2000;27(3):213-23.
31. Rodriguez-Vilchis LE, Contreras-Bulnes R, Olea-Mejia OF, Sánchez-Flores I, Centeno-Pedraza C. Morphological and Structural Changes on Human Dental Enamel After Er:YAG Laser Irradiation: AFM, SEM and EDS Evaluation. *Photomed Laser Surg.* 2011 Jul;29(7):493-500.
32. Khamaal I. AL-Hasnawi, Wesal A. Al-Obaidi. Effect of Nd:YAG laser- irradiation on fluoride uptake by tooth enamel surface (In vitro). *J Bagh Coll Dentistry.* 2014;26(1): 154-8.
33. Stern RH, Sognnaes RF, Goodman F. Laser effect on in vitro permeability and solubility. *J Am Dent Assoc.* 1966 Oct;73(4):838-43.
34. Husein A. Applications of Lasers in Dentistry: A Review. *Archives of Orofacial Sciences.* 2006;1:1-4.
35. Watanabe H, Yamamoto H, Kawamura M, Okagami Y, Kataoka K, Ishikawa. Acid Resistance of the Human Teeth Enamel Irradiated by Er: YAG Laser. 6th International Congress on Lasers in Dentistry. 2001: 68-69.
36. Arimoto N, Suzaki A, Katada H and Senda A. Acid Resistance in Lased Dentine. 6th International Congress on Lasers in Dentistry. 2001: 61-62.
37. Khamaal I. AL-Hasnawi, Wesal A. Al-Obaidi. Effect of Nd:YAG laser- irradiation on fluoride uptake by tooth enamel surface (In vitro). *J Bagh Coll Dentistry.* 2014;26(1): 154-8.
38. Stern RH, Sognnaes RF, Goodman F. Laser effect on in vitro permeability and solubility. *J Am Dent Assoc.* 1966 Oct;73(4):838-43.
39. Moghadam NCZ, Seraj B., Chiniourush N, Ghadimi S. Effects of Laser and Fluoride on the Prevention of Enamel Demineralization: An In Vitro Study. *J Lasers Med Sci.* 2018; 9(3): 177-182.
40. Cavalcanti BN, Lage-Marques JL, Rode SM. Pulpal temperature increases with Er:YAG and high-speed handpieces. *J Prosthet Dent.* 2003 Nov;90(5):447-51.
41. Raucci-Neto W, Pécora JD, Palma-Dibb RG. Thermal Effects and Morphological Aspects of Human Dentin Surface Irradiated With Different Frequencies of Er:YAG Laser. *Microsc Res Tech.* 2012 Oct; 75(10):1370-5.
42. Chan A., Armati P., Moorthy A.P. Pulsed Nd :YAG laser induces pupal analgesia: a randomized clinical trial. *J Dent Res.* 2012 Jul;91(7):795-845.
43. Daneswari V, Nandlal B. Restorative Dentistry for children using a hard tissue laser-A Review. *J. Int Oral Health.* 2011 Jun;3(3):1-10.
44. Takamori K, Furukawa H, Morikawa Y, Katayama T, Watanabe S. Basic study on vibrations during tooth preparations caused by high-speed drilling and Er:YAG laser irradiation. *Lasers Surg Med.* 2003;32(1): 25-31.
45. Demi M, Delmi KIM, De Moor JG. Hypersensitive Teeth: Conventional Vs Laser Treatment. Part II: Laser Treatment Dentin Hypersensitivity. *J Oral Laser Applications.* 2009;9(2/3):75-92.
46. Farmakis ET, Kozyrakis K, Khabbaz MG, Schoop U, Beer F, Moritz A. In vitro evaluation of dentin tubule occlusion by Densshield and Neodymium-doped yttrium-aluminum-garnet laser irradiation. *J Endod.* 2012 May;38(5):662-6.
47. Ehlers V, Ernst CP, Reich M, Kämmerer P, Willerhausen B. Clinical comparison of gluma and Er:YAG laser treatment of cervically exposed hypersensitive dentin. *Am J Dent.* 2012 Jun;25(3):131-5.
48. Parker S. Lasers and soft tissue: 'loose' soft tissue surgery. *Br Dent J.* 2007 Feb;202(4):185-91.
49. Mazunder D, Das U. Use of Er,Cr:YSGG laser in crown lengthening and esthetic soft tissue recontouring – Case reports. *J Dent Lasers.* 2009;3:6-9.
50. Pang P, Andreana S, Aoki A, Coluzzi D, Oveidi A, Olivi G, et al. Laser Energy in Oral Soft Tissue Applications. *J Laser Dent.* 2010;18(3):123-31.
51. Russel AD. Lethal effects of heat on bacterial physiology and structure. *Sci Prog.* 2003;86(1/2):115-137.
52. Romanos GE, Sacks D, Montanaro N, Delgado-Ruiz R, Calvo-Guirado JL, Javed F. Effect of Initiators on Thermal Changes in Soft Tissues Using a Diode Laser. *Photomed Laser Surg.* 2018 Jul;36(7):386-90.
53. Pang P. Lasers in cosmetic dentistry. *Gen Dent.* 2008;56:663-70
54. Rossmann JA, Cobb CM. Lasers in periodontal therapy. *Periodontol* 2000. 1995 Oct;9:150-64.
55. Magid KS, Strauss RA. Laser Use for Esthetic Soft Tissue Modification. *Dent Clin N Am.* 2007 Apr;51(2): 525-45.
56. Zeinoun T, Nammour S, Dourov N, Aftimos G, Luomanen M. Myofibroblasts in healing laser excision wounds. *Lasers Surg Med.* 2001;28(1):74-9.
57. Aoki A, Mizutani K, Takasaki AA, Sasaki KM, Nagai S, Schwarz F, et al. Current status of clinical laser applications in periodontal therapy. *Gen Dent.* 2008 Nov-Dec;56(7):674-87.
58. Uraz A, Çetiner FD, Cula S, Guler B, Oztoprak S. Patient perceptions and clinical efficacy of labial frenectomies using diode laser versus conventional techniques. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2018 Jun;119(3):182-6.
59. Calisir M, Ege B. Evaluation of patient perceptions after frenectomy operations: A comparison of neodymium-doped yttrium aluminium garnet laser and conventional techniques in the same patients. *Niger J Clin Pract.* 2018;21:1059-64.
60. Yukna RA, Carr RL, Evans GH. Histologic evaluation of an Nd:YAG laser-assisted new attachment procedure in humans. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2007;27(6):577-87.
61. Yukna RA, Carr RL, Evans GH. Histologic evaluation of an Nd:YAG laser-assisted new attachment procedure in humans. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2007;27(6):577-87.
62. Schwarz F, Aoki A, Becker J, Sculean A. Laser application in non-surgical periodontal therapy: A systematic review. *J Clin Periodontol.* 2008;35(8):29-44.
63. Gokhale S, Padhye A, Sumanth S. Bactericidal Effect of Nd:YAG Laser in an In Vitro Tissue Model – A Light Microscopic Evaluation. *J Oral Laser Applications.* 2010;10:17-22.
64. Coleton S. The use of lasers in periodontal therapy. *Alpha Omegan.* 2008 Dec;101(4):181-7.
65. de Paula Eduardo C, de Freitas PM, Esteves-Oliveira M, Aranha AC, Ramalho KM, Simões A, et al. Laser Phototherapy in the treatment of periodontal disease. A review. *Lasers Med Sci.* 2010;25(6):781-92.
66. Mummolo S, Marchetti E, Di Martino S, Scorzetti L, Marzo G. Aggressive periodontitis: laser Nd:YAG treatment versus conventional surgical therapy. *Eur J Paediatr Dent.* 2008 Jun;9(2):88-92.
67. Boj J, Galofre N, Espana A, Espasa E. Pain Perception in Pediatric Patients Undergoing Laser Treatments. *J Oral Laser Applications.* 2005;5:85-89.
68. Boj JR, Poirier C, Espasa E, Hernandez M, Jacobson B. Eruption cyst treated with a laser powered hydrokinetic system. *J Clin Pediatr Dent.* 2006;30(3):199-202.