

Κλινικές εφαρμογές των συσκευών laser στη μη χειρουργική περιοδοντική θεραπεία

Σ. Κωτσοβίλης*, Ι. Φουρμούζης**

*Περιοδοντολόγος

**Περιοδοντολόγος, Επ. Καθηγητής Περιοδοντολογίας
Οδοντιατρικής Σχολής Πανεπιστημίου Αθηνών

Περίληψη

Οι ακτίνες laser μπορούν να οριστούν ως ισχυρά, ομοιόμορφα και συμφασικά μονόχρωμα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία εκπέμπονται από ειδικό τύπο φωτεινών πηγών (φωτεινές πηγές ή συσκευές laser), όταν τα άτομά τους αρχικά διεγερθούν και στη συνέχεια ακολουθήσει η εξαναγκασμένη αποδιέγερση ενός συνόλου διεγερμένων ατόμων, που επάγεται από την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος κατάλληλης συχνότητας (εξαναγκάζοντος κύματος).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανασκόπηση και η αξιολόγηση της διεθνούς βιβλιογραφίας, αναφορικά με τις κλινικές εφαρμογές των συσκευών laser στη μη χειρουργική περιοδοντική θεραπεία. Οι υπάρχουσες έρευνες παρουσιάζουν υψηλή ετερογένεια μεταξύ τους και πολλές μελέτες εμφανίζουν περιορισμούς, με κυριότερους το σχετικά μικρό μέγεθος δείγματος ασθενών, το βραχύ χρόνο παρακολούθησης και την απουσία αναφοράς των μεταβολών του κλινικού επιπέδου πρόσφυσης. Παρά τους περιορισμούς αυτούς, η χρήση των συσκευών Er:YAG laser φαίνεται ότι είναι αποτελεσματική για τη μη χειρουργική θεραπεία της χρόνιας περιοδοντίτιδας βραδείας εξέλιξης, τόσο ως μονοθεραπεία, όσο και ως συμπληρωματικό μέσον στη χρήση μηχανικών εργαλείων ή συσκευών υπερήχων. Θετικά κλινικά αποτελέσματα έχουν αναφερθεί και για τη χρήση των διόδων και των Nd:YAG laser ως συμπληρωματικών μέσων στη χρήση μηχανικών εργαλείων για τη μη χειρουργική θεραπεία της χρόνιας περιοδοντίτιδας βραδείας εξέλιξης, αλλά είναι ασαφής η εφαρμογή τους ως μονοθεραπείας. Τέλος, δεν υπάρχουν επαρκείς πληροφορίες για την εφαρμογή των laser αργού στη θεραπεία της χρόνιας περιοδοντίτιδας βραδείας εξέλιξης και για τη χρήση οποιουδήποτε τύπου laser στην αντιμετώπιση της χρόνιας περιοδοντίτιδας ταχείας εξέλιξης ή επιθετικής περιοδοντίτιδας.

Εισαγωγή

Οι ακτίνες laser είναι δυνατόν να οριστούν ως ισχυρά (intense), ομοιόμορφα (uniform) και συμφασικά (ίδιας φάσης) (coherent in phase) ηλεκτρο-

μαγνητικά κύματα, τα οποία εκπέμπονται από ειδικό τύπο φωτεινών πηγών (φωτεινές πηγές ή συσκευές laser), όταν τα άτομά τους αρχικά διε-

γερθούν και στη συνέχεια ακολουθήσει η εξαναγκασμένη αποδιέγερση ενός συνόλου διεγερμένων ατόμων, που επάγεται από την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος κατάλληλης συχνότητας (εξαναγκάζοντος κύματος) (Αλεξόπουλος & Μαρίνος 1978, Coluzzi 2000, 2004). Οι ακτίνες laser είναι μονόχρωμες (ή μονοχρωματικές) ακτινοβολίες στην περιοχή είτε του ορατού, είτε του μη ορατού φάσματος (Αλεξόπουλος & Μαρίνος 1978, Coluzzi 2000, 2004).

Ο όρος "laser" αποτελεί ακρωνύμιο, που σχηματίζεται από τα αρχικά γράμματα των λέξεων της αγγλικής φράσης "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" ("ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας") και προτάθηκε το 1958 (Schawlow & Townes 1958) από τους Αμερικανούς Φυσικούς Arthur Schawlow (Βραβείο Nobel Φυσικής, 1981) και Charles Townes (Βραβείο Nobel Φυσικής, 1964).

Η βασική αρχή της λειτουργίας των ενισχυτών φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή (laser) περιγράφεται ως εξής (Αλεξόπουλος & Μαρίνος 1978): Όταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία επιδράσει σε άτομο που βρίσκεται στη θεμελιώδη του κατάσταση και προκαλέσει τη διέγερση του ατόμου, ανάλογα με τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας θα ακολουθήσει είτε η απορρόφησή της από το άτομο, είτε η επανεκπομπή της στη μορφή φωτονίου (αποδιέγερση του ατόμου), σύμφωνα με την κβαντική θεωρία. Η θεωρία αυτή αρχικά διατυπώθηκε το 1900 από το Γερμανό Φυσικό Max Planck (Βραβείο Nobel Φυσικής, 1918) και αργότερα έγινε αποδεκτή τόσο από τον Albert Einstein για την ερμηνεία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου το 1905 (Βραβείο Nobel Φυσικής, 1921) (Einstein 1905), όσο και από το Δανό Φυσικό Niels Bohr κατά τη διατύπωση του προτύπου του τελευταίου για τη δομή του ατόμου το 1913 (Βραβείο Nobel Φυσικής, 1922) (Bohr 1913, 1922).

Η αποδιέγερση του ατόμου μπορεί να είναι είτε αυτόματη, είτε εξαναγκασμένη. Η αυτόματη αποδιέγερση ορίζεται ως ο τύπος αποδιέγερσης του ατόμου που δεν προκαλείται από κάποια εξωτερική επίδραση στο άτομο. Όταν σύνολο α-

τόμων αποδιεγερθούν αυτόματα, ακολουθεί αυτόματη εκπομπή ακτινοβολίας, που πραγματοποιείται σε τυχαίες χρονικές στιγμές, διαφορετικές για το κάθε άτομο, και συνεπώς η εκπομπή είναι ασυντόνιστη για τα διάφορα άτομα. Στην περίπτωση αυτή, τα διάφορα άτομα εκπέμπουν (φωτοβολούν) ηλεκτρικά κύματα με μικρή διάρκεια και διαφορετικές φάσεις, που ονομάζονται "στοιχειώδεις συρμοί". Με το μηχανισμό αυτό, παράγεται το ηλεκτρικό φως από τις συνήθεις ηλεκτρικές φωτεινές πηγές με αέριο νέο υπό ελαττωμένη πίεση. Το φως εκπέμπεται κατά την αυτόματη αποδιέγερση των ατόμων του αερίου νέου μετά την αρχική διέγερσή τους από κινούμενα ηλεκτρόνια ηλεκτρικής εκκένωσης που πραγματοποιείται εντός του αερίου (Αλεξόπουλος & Μαρίνος 1978, Coluzzi 2004).

Αντίθετα, στην περίπτωση της εξαναγκασμένης αποδιέγερσης, σύμφωνα με τη θεωρία που διατύπωσε ο Albert Einstein το 1916 (Einstein 1916, 1917), τα διεγερμένα άτομα εξαναγκάζονται να αποδιεγερθούν από ηλεκτρομαγνητικό κύμα κατάλληλης συχνότητας (εξαναγκάζον κύμα), πριν προφτάσουν να αποδιεγερθούν από μόνα τους. Αποτέλεσμα της εξαναγκασμένης αποδιέγερσης είναι τα άτομα να φωτοβολούν στοιχειώδεις συρμούς σε φάση με το εξαναγκάζον κύμα, επομένως και μεταξύ τους. Η εκπομπή αυτή των φωτονίων από τα άτομα λαμβάνει τη μορφή αλυσιδωτής αντίδρασης, κατά την οποία κάθε φωτόνιο που εκπέμπεται από ένα άτομο μπορεί να προκαλέσει την εξαναγκασμένη αποδιέγερση παρακείμενου ατόμου και την εκ νέου εκπομπή φωτονίου ίδιας συχνότητας. Στις φωτεινές πηγές laser χρησιμοποιούνται σωλήνες, τα άκρα των οποίων φέρουν παράλληλα τοποθετημένα κάτοπτρα, που προκαλούν διαδοχικές ανακλάσεις των φωτονίων, ώστε να πολλαπλασιαστεί ο αριθμός των εξαναγκασμένων αποδιεγερσεων. Το σύνολο των εκπεμπόμενων φωτονίων προστίθεται στο αρχικό εξαναγκάζον κύμα και το ενισχύει.

Ως συνέπεια των παραπάνω φαινομένων, τελικά εκπέμπονται οι ακτίνες laser, που είναι συμμασικά (ίδιας φάσης) ηλεκτρομαγνητικά κύματα

και με εξαιρετικά μικρό εύρος διακύμανσης μεταξύ τους ως προς το μήκος κύματος (πρακτικά προσεγγίζοντας ένα και μοναδικό μήκος κύματος) και κατά πολύ ισχυρότερες (με υψηλότερα ποσά ενέργειας) από το αρχικό εξαναγκάζον κύμα. Επιπρόσθετα, πρακτικά σχεδόν δεν αποκλίνουν κατά την κίνησή τους στο χώρο, όπως κατά τη μεταφορά τους εντός οπτικών ινών, επομένως έχουν και τη δυνατότητα υψηλής εστίασης σε μικροσκοπικό ή σημειακό χώρο (Αλεξόπουλος & Μαρίνος 1978, Coluzzi 2004).

Η ιστορική εξέλιξη των φωτεινών πηγών laser είναι η ακόλουθη (Sulewski 2000). Αρχικά, πριν από την κατασκευή των συσκευών laser, πραγματοποιήθηκε η "ενίσχυση μικροκυμάτων με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας" ("Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation", MASER) από την ερευνητική ομάδα του Townes το 1955 (Gordon και συν. 1955), ενώ από την ίδια ομάδα διατυπώθηκε η πρωτοποριακή ιδέα της παραγωγής ακτίνων laser με την εφαρμογή της ίδιας τεχνικής στο ορατό φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, αντί των μικροκυμάτων (Schawlow & Townes 1958). Είναι ενδιαφέρον ότι την πατρότητα της θεωρητικής σύλληψης των πηγών laser διεκδίκησε και ο Gordon Gould, Μεταπτυχιακός Φοιτητής Φυσικής του Πανεπιστημίου Columbia, ο οποίος φαίνεται ότι κατά την ίδια περίοδο και ανεξάρτητα από την ομάδα του Townes είχε καταλήξει στα ίδια συμπεράσματα. Η ιδέα αυτή υλοποιήθηκε με την κατασκευή της πρώτης συσκευής ακτίνων laser από τον Theodore Harold Maiman (Βραβεία Wolf και Japan, 1983 και 1987 αντίστοιχα) στα Ερευνητικά Εργαστήρια Hughes το 1960, η οποία απελευθέρωνε μία βαθιά ερυθρή (ορατή) ακτινοβολία από έναν κρύσταλλο ρουμπινίου μετά τη διέγερσή του από ενέργεια (Maiman 1960).

Η πρώτη εφαρμογή των ακτίνων laser για την αποκοπή, εκτομή, πήξη και εξαχνωση ή εξαέρωση βιολογικών ιστών -συμπεριλαμβανομένων και σκληρών οδοντικών ουσιών- πραγματοποιήθηκε από την ερευνητική ομάδα του Αμερικανού Φυσικού Goldman (Goldman και συν. 1964), ενώ η εφαρμογή τους σε διαδικασίες επί των σκληρών ο-

δοντικών ουσιών αναφέρθηκε το ίδιο έτος και από τους Stern και Sognnaes (Stern & Sognnaes 1964).

Οι συσκευές laser διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ήταν ιστορικά οι πρώτες που διατέθηκαν στο εμπόριο και χρησιμοποιήθηκαν σε ενδοστοματικές κλινικές εφαρμογές από ωτορινολαρυγγολόγους, στοματικούς χειρουργούς, αλλά και περιοδοντολόγους κατά τις δεκαετίες του 1970 και του 1980 (Sulewski 2000).

Μεταγενέστερα, κατά τη δεκαετία του 1980, οι συσκευές Nd:YAG (Neodymium: yttrium, aluminum, garnet) laser άρχισαν να χρησιμοποιούνται στην κλινική οδοντιατρική πράξη, αρχικά για την αφαίρεση της τερηδόνας (Myers & Myers 1985) και τη χειρουργική των μαλακών ιστών, συμπεριλαμβανομένων και των περιοδοντικών ιστών (Pick και συν. 1985, Midda 1992). Παράλληλα, εξακολούθησαν να χρησιμοποιούνται και οι συσκευές laser διοξειδίου του άνθρακα (Rossmann και συν. 1987, Barak & Kaplan 1988, Pick 1993).

Από την εποχή αυτή μέχρι τις ημέρες μας έχει αναφερθεί ένα μεγάλο πλήθος κλινικών εφαρμογών των συσκευών laser στα δόντια και τους περιοδοντικούς ιστούς (Cobb 2006, Parker 2007) και πρόσφατα και στα εμφυτεύματα και τους περιεμφυτευματικούς ιστούς (Martin 2004, Sculean και συν. 2005, Kotsovilis και συν. 2008), με αποτελέσματα ποικίλα και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και αντικρουόμενα. Έχει υποστηριχτεί ότι η χρήση των συσκευών laser μπορεί να συνεπάγεται διάφορα πλεονεκτήματα (Sulewski 2000, Coletton 2004), όπως αυξημένη αιμόσταση, λόγω αυξημένης ενεργοποίησης των αιμοπεταλίων στην περιοχή του τραύματος (Mordon και συν. 2002), με αποτέλεσμα την καλύτερη ορατότητα του θεράποντος σε αναίμακτο χειρουργικό πεδίο και την ελάττωση της αναγκαιότητας συρραφών, την αποστείρωση των ιστών και τη συνακόλουθη ελάττωση της μικροβιαϊμίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερα για τα laser χαμηλής ενέργειας (low-level energy lasers) για εφαρμογές στους μαλακούς ιστούς, έχουν αναφερθεί ως πλεονεκτήματα η επιτάχυνση της επούλωσης και η μείωση του σχηματισμού ουλώδους ιστού, του οιδήματος

λόγω απόφραξης των λεμφαγγείων (Pick και συν. 1985), του πόνου και της δυσανεξίας των ασθενών μετά τη θεραπευτική παρέμβαση (Pick και συν. 1985, Rossmann και συν. 1987, Barak & Kaplan 1988, Fernando και συν. 1993, Neiburger 1995, Cobb 2006). Οι παραπάνω επιδράσεις στην επούλωση έχουν αμφισβητηθεί όμως από άλλες έρευνες (Masse και συν. 1993, Damante και συν. 2004).

Από το σύνολο των κλινικών εφαρμογών των συσκευών laser στην Περιοδοντολογία, η πιο συνήθης στην καθημερινή κλινική πράξη και σε μεγαλύτερο βαθμό ερευνητικά τεκμηριωμένη είναι σαφώς η χρήση τους στη μη χειρουργική θεραπεία της περιοδοντικής νόσου (Cobb 2006). Κατά συνέπεια, σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανασκόπηση και η αξιολόγηση της διεθνούς βιβλιογραφίας, αναφορικά με τις κλινικές εφαρμογές των συσκευών laser στη μη χειρουργική περιοδοντική θεραπεία.

Οι κυριότεροι τύποι laser που χρησιμοποιούνται στους περιοδοντικούς ιστούς

Η ονομασία των φωτεινών πηγών laser τυπικά προέρχεται από τη χημική ουσία (χημικό στοιχείο ή ένωση) ή το σύνολο των χημικών ουσιών, των οποίων τα άτομα υφίστανται την εξαναγκασμένη αποδιέγερση (Cobb 2006). Η κυματομορφή (waveform) των ακτίνων laser μπορεί να είναι συνεχής (continuous), εναλλασσόμενη (gated / pulsed), ή αληθώς εναλλασσόμενη (free-running pulsed / "true pulsed") (Coluzzi 2004, Cobb 2006). Η συνεχής κυματομορφή χαρακτηρίζεται από μία σταθερή ισχύ της ακτίνας laser. Η εναλλασσόμενη κυματομορφή χαρακτηρίζεται από περιοδικές εναλλαγές εκπομπής και τεχνητά προκαλούμενης διακοπής της εκπομπής της ακτινοβολίας. Τέλος, η αληθώς εναλλασσόμενη κυματομορφή χαρακτηρίζεται από την περιοδική εναλλαγή της εκπομπής υψηλής ποσότητας ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα (της τάξης των msec), που ακολουθείται από παρατεταμένο χρονικό

διάστημα διακοπής της εκπομπής της ακτίνας laser (Coluzzi 2004).

Οι κυριότεροι τύποι laser που έχουν χρησιμοποιηθεί στην Περιοδοντολογία και τα βασικά χαρακτηριστικά τους περιγράφονται στις παραγράφους που ακολουθούν:

Laser Nd:YAG (Neodymium: yttrium, aluminum, garnet / Νεοδυμίου: υττρίου, αργιλίου, ερυθρού πολύτιμου λίθου)

Είναι ο πρώτος τύπος laser που κατασκευάστηκε για αποκλειστικά οδοντιατρικές εφαρμογές (Myers & Myers 1985). Το ακτινοβολούν μέσον είναι ένα στερεό μείγμα, που αποτελείται από έναν ερυθρό πολύτιμο λίθο (κρύσταλλο), αναμειγμένο με τα στοιχεία (μέταλλα) νεοδύμιο, αργίλιο και ύττριο, που υπάγονται στην ομάδα των σπανίων γαιών. Το μήκος κύματος της ακτίνας laser Nd:YAG είναι 1064 nm, ανήκει στο εγγύς υπέρυθρο, μη ορατό και μη ιονίζον τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και η κυματομορφή της είναι αληθώς εναλλασσόμενη. Η μεταβίβαση της πραγματοποιείται μέσω ευκίνητων οπτικών ινών, που πρέπει να εφάπτονται στην επιφάνεια του στόχου στην πλειοψηφία των εφαρμογών. Χρησιμοποιείται αποκλειστικά στη χειρουργική των μαλακών περιοδοντικών ιστών (χαλινεκτομή, ουλεκτομή-ουλοπλαστική, αποεπιθηλιοποίηση κρημνών, αφαίρεση κοκκιώδους ιστού, αφαίρεση ουλικών χρωστικών, ουλική απόξεση, ελάττωση βακτηριακού φορτίου, ελεύθερο ουλικό μόσχευμα, αποκάλυψη οδοντικών εμφυτευμάτων και άλλες κλινικές εφαρμογές) (Pick και συν. 1990, Romanos 1994, Coletton 2004), διότι απορροφάται έντονα από τους μαλακούς ιστούς και ειδικότερα προσκολλάται στις χρωστικές (π.χ. μελανίνη, αιμοσφαιρίνη) και μεταβιβάζεται με το νερό που περιέχουν σε ποσοστό περίπου 90% (Coletton 2004), αλλά απορροφάται ελάχιστα από τους σκληρούς οδοντικούς ιστούς. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη χρήση του στην περιοχή της περιοδοντικά προσβεβλημένης ουλοδοντικής σχισμής, όπου υπάρχουν χρωμοφόρα βακτήρια, χω-

ρίς να συνεπάγεται τη φθορά των παρακείμενων οδοντικών ουσιών (Coluzzi 2000, 2004, Coleton 2004, Raffetto 2004, Cobb 2006). Έχει αναφερθεί από *in vivo* έρευνες ότι το Nd:YAG laser προκαλεί την ελάττωση περιοδοντοπαθογόνων βακτηρίων (Cobb και συν. 1992, Ben Hatit και συν. 1996, Gutknecht και συν. 2002), ενώ *in vitro* μελέτες έχουν δείξει ότι επιτυγχάνεται και η αφαίρεση της τρυγίας χωρίς να προκαλούνται φθορές στις σκληρές οδοντικές ουσίες (Radvar και συν. 1996) Επιπρόσθετα, έχει αναφερθεί ότι το Nd:YAG laser με χαμηλή πυκνότητα ενέργειας (ενέργεια ανά επιφάνεια) μπορεί να χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του ρυπαρού επιχρίσματος (smear layer) των δοντιών, χωρίς να προκαλεί βλάβες στην οδοντίνη, στην οστεΐνη και στον πολφό (Ito και συν. 1993, Wilder-Smith και συν. 1995).

Laser Nd:YAP (Neodymium: yttrium, aluminum, perovskite / Νεοδυμίου: υττρίου, αργιλίου, περοβσκήτη)

Ο περοβσκήτης (perovskite) ή οξειδιο του α-σβεστίου και του τιτανίου (CaTiO_3) είναι ένας σχετικά σπάνιος κρύσταλλος, που ανακαλύφθηκε στα Ουράλια Όρη στη Ρωσία από τον Gustav Rose το 1839 και έλαβε την ασυνήθη ονομασία του από τον ίδιο τον Rose ως ένδειξη τιμής προς το Ρώσο Ορυκτολόγο Count Lev Aleksevich von Perovski. Γενικότερα, στη Χημεία των ορυκτών με την ονομασία περοβσκήτης εννοείται κάθε κρύσταλλος με χημικό τύπο ABO_3 , όπου Α και Β είναι διαφορετικά μεταξύ τους κατιόντα, όπως για παράδειγμα το οξειδιο του μαγνησίου και του πυριτίου (MgSiO_3), που είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους κρυστάλλους στον πλανήτη μας (Tejuca 1993, Mitchell 2002).

Ο περοβσκήτης απαντάται συχνά στη φύση εμπλουτισμένος με νεοδύμιο, ενώ η περαιτέρω ανάμειξη με ύττριο και αργίλιο παρέχει την πηγή laser Nd:YAP (Tejuca 1993, Mitchell 2002). Η παραγόμενη ακτίνα laser έχει εναλλασσόμενη κυματομορφή, μεταφέρεται με εύκαμπτες οπτικές ίνες και χρησιμοποιείται συνήθως σε επαφή με την επιφάνεια-στόχο (Cobb 2006). Στην κλινική

περιοδοντική πράξη έχει τις ίδιες κύριες εφαρμογές με το Nd: YAG laser (Cobb 2006).

Δίοδοι laser (Diode lasers)

Στη Φυσική, το φαινόμενο κατά το οποίο ένα μέταλλο εκπέμπει ηλεκτρόνια, όταν θερμαίνεται σε υψηλή θερμοκρασία ονομάζεται θερμική εκπομπή ηλεκτρονίων (Αλεξόπουλος & Μαρίνος 1978). Στο φαινόμενο αυτό στηρίζεται η λειτουργία των διόδων ηλεκτρονικών λυχνιών. Ως δίοδος ηλεκτρονική λυχνία ορίζεται μία διάταξη δύο ηλεκτροδίων μέσα σε σωλήνα κενού, στην οποία πραγματοποιείται θερμική εκπομπή ηλεκτρονίων. Το ένα ηλεκτρόδιο (κάθοδος) αποτελείται από δύστηκτη ουσία, που όταν θερμαίνεται ισχυρά από άλλη ηλεκτρική πηγή, αποτελεί την πηγή των ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια αυτά εκπέμπονται από την κάθοδο, διασχίζουν το κενό του σωλήνα και καταλήγουν στο έτερο ηλεκτρόδιο (άνοδος), όταν επιδράσει διαφορά δυναμικού (ανοδική τάση) ανάμεσα στην άνοδο-κάθοδο, με τελικό αποτέλεσμα τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος (ανοδικό ρεύμα) (Αλεξόπουλος & Μαρίνος 1978).

Οι δίοδοι laser (diode lasers) είναι τύποι φωτεινών πηγών laser, που αποτελούνται από ημιαγωγούς κρυστάλλους (Coluzzi 2000, 2004). Συνηθέστερα, οι κρύσταλλοι αυτοί είναι μείγματα ινδίου, γαλλίου, αρσενικού και φωσφόρου (InGaAsP diode), γαλλίου, αργιλίου και αρσενικού (GaAlAs diode) ή μόνον γαλλίου και αρσενικού (GaAs diode) (Cobb 2006). Οι παραγόμενες ακτίνες laser έχουν μήκη κύματος κυμαινόμενα από 635 nm έως 950 nm (Cobb 2006) και ανήκουν στην εναρκτήρια ζώνη της εγγύς υπέρυθρη περιοχής του μη ορατού, μη ιονίζοντος και μη μεταλλαξιογόνου τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Coluzzi 2000, 2004). Έχουν συνεχή ή εναλλασσόμενη κυματομορφή και μεταβιβάζονται με εύκαμπτες οπτικές ίνες (Coluzzi 2000, 2004, Coleton 2004).

Οι δίοδοι laser εστιάζουν υψηλές ποσότητες ενέργειας στην επιφάνεια του στόχου και κατ' εξοχήν ενδείκνυνται για την πραγματοποίηση τομών και εκτομών στους μαλακούς περιοδοντικούς ιστούς, όταν χρησιμοποιούνται σε επαφή με αυ-

τούς (Moritz και συν. 1997). Όταν χρησιμοποιούνται από απόσταση, απορροφώνται σε βάθος στους μαλακούς ιστούς, ιδιαίτερα όταν οι τελευταίοι φέρουν χρωστικές, και επιτυγχάνουν αιμόσταση (Rowson 1995, Coleton 2004). Η απορρόφηση των ακτίνων αυτών από τις σκληρές οδοντικές ουσίες είναι μικρή, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση τους στο περιοδόντιο σε επαφή με το δόντι, όπως συμβαίνει κατά τη ριζική απόξεση για την απομάκρυνση του μικροβιακού φορτίου που είναι προσκολλημένο στην οδοντική επιφάνεια (Coluzzi 2000, 2004). Συνεπώς, η απορρόφηση των ακτίνων αυτών παρουσιάζει αναλογίες με αυτή των ακτίνων laser Nd:YAG. Όπως και στην περίπτωση των laser Nd:YAG, οι δίοδοι laser μπορούν υπό προϋποθέσεις να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία της ριζικής επιφάνειας, χωρίς να προκαλούν βλάβες στον πολφό, στην οδοντίνη ή στην οστέινη, υπό τον όρο ότι έχουν χαμηλή ισχύ, της τάξης του 1W ή λιγότερο (Kreisler και συν. 2002).

Laser διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)

Η ακτίνα laser παράγεται και εκπέμπεται με την ηλεκτρική εκκένωση αερίου μείγματος, που περιέχει κυρίως διοξείδιο του άνθρακα. Η ακτίνα αυτή έχει μήκος κύματος 10600 nm και κατατάσσεται στην ακραία ζώνη (περιοχή) του μέσου υπέρυθρου μη ορατού και μη ιονίζοντος τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, έχει συνεχή ή εναλλασσόμενη κυματομορφή και η μεταβίβαση της πραγματοποιείται μέσω ενός σωληνοειδούς κυματοδηγού ανοικτού άκρου, αλλά δεν είναι εφικτή μέσω των συμβατικών οπτικών ινών (Coluzzi 2000, 2004). Η εστίαση της ακτίνας στην επιφάνεια του στόχου επιτυγχάνεται, όταν η εκπομπή της πραγματοποιείται σε απόσταση 1-2 mm από την επιφάνεια, χωρίς καμία επαφή με αυτήν (Cobb 2006). Χαρακτηριστικά των ακτίνων laser του διοξειδίου του άνθρακα είναι η έντονη απορρόφησή τους από το νερό και η αβαθής διείσδυσή τους στους βιολογικούς ιστούς, τα οποία κατ'επέκταση επιτρέπουν τη χρήση των ακτίνων αυτών στην τομή ή εκτομή των μαλακών περιοδο-

ντικών ιστών ή τη ριζική απόξεση (Coluzzi 2000, 2004). Οι ακτίνες laser του διοξειδίου του άνθρακα όμως διαφέρουν από τις άλλες ακτίνες laser μαλακών ιστών, όπως το Nd:YAG και τις διόδους laser, ως προς το ότι απορροφώνται από το νερό των μαλακών ιστών, ενώ οι άλλες ακτίνες laser των μαλακών ιστών απορροφώνται από τις χρωστικές και μεταβιβάζονται μέσω του νερού (Coleton 2004).

Λόγω του γεγονότος ότι το συγκεκριμένο μήκος κύματος συσχετίζεται με εντονότατη απορρόφηση της ακτίνας από τον υδροξυαπατίτη (την εντονότερη από οποιοδήποτε άλλο οδοντιατρικό τύπο συσκευής laser), οι ακτίνες laser διοξειδίου του άνθρακα δεν ενδείκνυνται για εργασίες στις σκληρές οδοντικές ουσίες (Pogrel και συν. 1993, Gorin και συν. 1997), τουλάχιστον με τα ισχύοντα μέχρι σήμερα ερευνητικά και κλινικά δεδομένα. Οι ακτίνες αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την απομάκρυνση του βακτηριακού φορτίου των ριζικών επιφανειών και όταν η πυκνότητα ενεργείας τους είναι μικρότερη από 41 J/cm², έχει αναφερθεί ότι δεν επιφέρουν ιστικές βλάβες στις ριζικές επιφάνειες (Coffelt και συν. 1997, Crespi και συν. 2005). Έχει διατυπωθεί όμως και η άποψη ότι η χρήση του laser διοξειδίου του άνθρακα είναι λιγότερο αποτελεσματική για την αφαίρεση της υποουλικής πλάκας συγκριτικά με το Nd:YAG laser, διότι το δεύτερο εφαρμόζεται με άμεση επαφή με τον περιοδοντικό θύλακο, ενώ το πρώτο χωρίς επαφή (Miyazaki και συν. 2003).

Laser αργού (Argon lasers, Ar)

Το laser αργού, όπως αυτό του διοξειδίου του άνθρακα, ανήκει στις φωτεινές πηγές laser με αέριο ενεργό μέσον. Η διέγερση των ατόμων του πραγματοποιείται με ηλεκτρική εκκένωση. Στην οδοντιατρική κλινική πράξη, ανάλογα με το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτίνας, χρησιμοποιούνται δύο τύποι laser αργού. Η ακτίνα των 488 nm έχει κυανούν χρώμα, ενώ αυτή των 514 nm έχει κυανοπράσινο χρώμα. Είναι αξιοσημείωτο, ότι από τους τύπους ακτίνων laser που χρησιμοποιούνται στην Οδοντιατρική, είναι οι μόνες α-

κτίνες που ανήκουν στο ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η κυματομορφή τους είναι συνεχής ή εναλλασσόμενη και η μεταφορά τους πραγματοποιείται με εύκαμπτες οπτικές ίνες, συνήθως σε επαφή με την επιφάνεια του στόχου (Colluzzi 2000, 2004, Coletton 2004).

Η ακτίνα laser των 488 nm χρησιμοποιείται κυρίως στην Επανορθωτική Οδοντιατρική και στο χώρο της Περιοδοντολογίας δεν έχει ιδιαίτερες κλινικές εφαρμογές. Αντίθετα, η ακτίνα laser των 514 nm χρησιμοποιείται ευρέως στους μαλακούς περιοδοντικούς ιστούς, λόγω της έντονης απορρόφησής της από ιστούς που περιέχουν αιμοσφαιρίνη, αιμοσιδηρίνη και μελανίνη, δηλαδή σε αγγειοβριθείς και μελαγχρωματικούς ιστούς, όπως ακριβώς προαναφέρθηκε για τις ακτίνες laser Nd:YAG και τις διόδους (Raffetto 2004). Κλινικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τομές και εκτομές μαλακών ιστών (Cobb 2006), για την αντιμετώπιση της έντονης περιοδοντικής φλεγμονής, καθώς και όταν υπάρχει ανάγκη αιμόστασης (Colluzzi 2000, 2004).

Αντίθετα, η απορρόφηση των ακτίνων laser αργού από τις σκληρές οδοντικές ουσίες δεν είναι έντονη. Το γεγονός αυτό αποτελεί μειονέκτημα από την άποψη του ότι το laser αργού δεν προσφέρεται για εργασίες στο δόντι ή στο οστό, αλλά συγχρόνως και πλεονέκτημα, διότι επιτρέπει την ακίνδυνη χρήση του σε μαλακούς περιοδοντικούς ιστούς παρακαείμενους του δοντιού, όπως στην περιοχή της ουλοδοντικής σχισμής (Colluzzi 2000, 2004). Ερευνητικά, έχει δείχθει ότι το laser αργού έχει την ικανότητα της μείωσης των χρωμοφόρων βακτηρίων των περιοδοντικών θυλάκων (Henry και συν. 1996), μέσω παραγωγής θερμικής ενέργειας, φαινόμενο που έχει ονομαστεί “θερμόλυση του θυλάκου” (laser pocket thermolysis) (Finkbeiner 1995).

Laser Er:YAG (Erbium: yttrium, aluminum, garnet / Ερβίου: υττρίου, αργιλίου, ερυθρού πολύτιμου λίθου) και Er,Cr:YSGG (Erbium, chromium: yttrium, scandium, gallium, garnet / Ερβίου, χρωμίου: υττρίου, σκανδίου, γαλλίου, ερυθρού

πολύτιμου λίθου) (οικογένεια των laser του ερβίου)

Το έρβιο είναι μέταλλο, που κατατάσσεται στις σπάνιες γαίες. Δύο τύποι laser, με παρόμοιες ιδιότητες, περιέχουν έρβιο.

Το Er:YAG laser εμφανίστηκε στο εμπόριο το 1992, έχει έναν κρύσταλλο ερυθρού πολύτιμου λίθου σε μείγμα με το έρβιο, το ύτριο και το αργίλιο και εκπέμπει ακτίνες laser με μήκος κύματος 2940 nm. Το Er,Cr:YSGG laser κατασκευάστηκε μετά το Er:YAG laser και έχει έναν κρύσταλλο ερυθρού πολύτιμου λίθου σε μείγμα με έρβιο, χρώμιο, ύτριο, σκάνδιο και γάλλιο (το σκάνδιο και το γάλλιο είναι επίσης μέταλλα που υπάγονται στις σπάνιες γαίες). Οι ακτίνες του Er,Cr:YSGG laser έχουν μήκος κύματος 2780 nm. Οι ακτίνες που εκπέμπονται από τους παραπάνω δύο τύπους laser ανήκουν στο εναρκτήριο τμήμα του μέσου υπέρυθρου μη ορατού και μη ιονίζοντος τμήματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η κυματομορφή των ακτίνων αυτών είναι αληθώς εναλλασσόμενη και για τους δύο αυτούς τύπους laser (Colluzzi 2000, 2004, Coletton 2004, van As 2004, Cobb 2006).

Κατά την πρώτη δεκαετία του 21ου αιώνα, τα laser ερβίου έχουν επικρατήσει ως οι δημοφιλέστερες συσκευές laser για οδοντιατρικές κλινικές εφαρμογές στους σκληρούς ιστούς (οδοντικούς και οστικούς), με δεδομένο ότι παλαιότεροι τύποι laser, όπως Nd:YAG, διοξειδίου του άνθρακα και οι διόδοι laser χρησιμοποιούνταν με επιτυχία και ασφάλεια μόνον στους μαλακούς ιστούς και για το λόγο αυτό συχνά αποκαλούνται και “laser των μαλακών ιστών” (soft tissue lasers) (van As 2004). Ιστορικά, η πρώτη αναφορά για τη χρήση του Er:YAG laser αφορούσε στην επεξεργασία (παρασκευή κοιλοτήτων) των σκληρών οδοντικών ουσιών (Paghdiwala 1988) και αρχικά τα laser του ερβίου θεωρούνταν κυρίως laser σκληρών ιστών (hard tissue lasers), αν και η χρήση τους επεκτείνεται και στους μαλακούς ιστούς (van As 2004).

Ως προς τα συστήματα μεταφοράς, υπάρχει μία μικρή διαφοροποίηση μεταξύ των δύο αυτών τύπων laser. Οι ακτίνες του Er:YAG laser μεταφέ-

ρονται με εύκαμπτες οπτικές ίνες ή με κυματοδηγό ανοικτού άκρου, ενώ αυτές του Er,Cr: YSGG laser μόνο με οπτικές ίνες (Coluzzi 2000, 2004). Στην πλειονότητα των κλινικών εφαρμογών, οι παραπάνω δύο τύποι ακτίνων laser απαιτούν την επαφή τους με την επιφάνεια του στόχου (Cobb 2006).

Τα laser του ερβίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κλινική πράξη για πλήθος εργασιών στους μαλακούς και σκληρούς περιοδοντικούς ιστούς, καθώς και στους οδοντικούς ιστούς, όπως τομές ή εκτομές των μαλακών ιστών, οστεοπλαστική και οστεκτομή, αποτρύγωση και ριζική απόξεση (van As 2004, Cobb 2006). Τα μήκη κύματος των συγκεκριμένων ακτίνων laser (2940 nm ή 2780 nm) είναι πολύ κοντά στο μήκος κύματος (3000 nm), όπου εμφανίζεται η υψηλότερη δυνατή απορρόφηση ενός κύματος από το νερό (van As 2004). Κατά συνέπεια, τα laser ερβίου απορροφώνται έντονα από το νερό και επειδή οι μαλακοί ιστοί έχουν υψηλή περιεκτικότητα νερού, ενδείκνυται η χρήση των laser ερβίου στους ιστούς αυτούς (Lee 1998, Puricelli και συν. 2000). Είναι χαρακτηριστικό ότι το Er:YAG laser απορροφάται από το νερό 15 φορές περισσότερο από ό,τι το laser διοξειδίου του άνθρακα και 20000 φορές περισσότερο από ό,τι το Nd:YAG laser (Walsh και συν. 1989, Walsh & Cummings 1994). Επιπρόσθετα, τα μήκη κύματος των ακτίνων laser ερβίου σχετίζονται με υψηλή συγγένεια και προς τα συστατικά του οστίτη ιστού, με αποτέλεσμα να καθίσταται ευχερής η εφαρμογή των αφαιρετικών τεχνικών στο οστόν (οστεκτομής, οστεοπλαστικής) (Lewandrowski και συν. 1996, Watanabe και συν. 1997). Η δυνατότητα χρήσης των laser ερβίου στους σκληρούς ιστούς είναι ιδιαίτερα σημαντική, διότι η πλειονότητα των οδοντικών laser έχουν τέτοια μήκη κύματος, που αναπτύσσουν καταστρεπτικά φωτοθερμικά φαινόμενα στο οστόν (Cobb 2006). Αντίθετα, σε έρευνες στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν Er:YAG laser (100 mJ/pulse, 10Hz) για την πραγματοποίηση ενδοστικών τομών, δεν παρατηρήθηκε ρευστοποίηση ή καύση του οστίτη ιστού (Sasaki και συν. 2002a, 2002b).

Επιπλέον, το Er:YAG laser θεωρείται ότι έχει μήκος κύματος που συνεπάγεται απορρόφηση του κύματος σε μικρό βάθος στο εσωτερικό των ενασβεστωμένων ιστών και επομένως φαίνεται ότι είναι ο πιο κατάλληλος τύπος συσκευής laser για την επεξεργασία της ριζικής επιφάνειας, δίχως να επιφέρει πολφική βλάβη, με σκοπό την βακτηριοκτόνο δράση του έναντι των περιοδοντοπαθογόνων βακτηρίων (Ando και συν. 1996), την απομάκρυνση της τρυγίας (Schwarz και συν. 2003d), του ρυπαρού επιχρίσματος (smear layer) (Schwarz και συν. 2003a), των επιφανειακών στρωμάτων της οστεΐνης (Schwarz και συν. 2001a) ή των βακτηριακών ενδοτοξινών (Yamaguchi και συν. 1997), με αποτέλεσμα τη λείανση της ριζικής επιφάνειας, που ευνοεί την ιστική πρόσφυση (Aoki και συν. 2004, Coleton 2004). Κατά μία άποψη που έχει διατυπωθεί στη βιβλιογραφία (Sculean και συν. 2004), η χρήση του laser Er:YAG για την επεξεργασία της ριζικής επιφάνειας πλεονεκτεί έναντι των laser Nd:YAG και του διοξειδίου του άνθρακα ως προς το ότι οι τελευταίοι δύο τύποι διασπούν πρωτεΐνες της ριζικής επιφάνειας και στη συνέχεια τις αναμειγνύουν με παραπροϊόντα αυτής της διάσπασης, με αποτέλεσμα να μειώνεται η κυτταρική προσκόλληση των ινοβλαστών του περιρριζίου (Thomas και συν. 1994). Αντίθετα, το Er:YAG laser δεν αλλοιώνει την πρωτεϊνική σύσταση της ριζικής επιφάνειας (Gaspirc & Skaleric 2001, Sasaki και συν. 2002c) και επιπλέον δημιουργεί συνθήκες πιο ευνοϊκές για την προσκόλληση των ινοβλαστών στη ριζική επιφάνεια, συγκριτικά με τη συμβατική αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία (Rossa και συν. 2002, Schoor και συν. 2002).

Οι παραπάνω εφαρμογές απαιτούν τη χρήση ύδατος ως ψυκτικού μέσου (Schwarz και συν. 2001a, Cobb 2006). Η αναγκαιότητα ψύξης μπορεί να ερμηνευτεί με βάση μία ενδιαφέρουσα θεωρία (Venugopalan 1995) για το μηχανισμό δράσης των laser ερβίου στους σκληρούς ενασβεστωμένους ιστούς, που είναι η ακόλουθη: Οι ακτίνες αυτές απορροφώνται έντονα από τα μόρια του νε-

ρού (πολύ περισσότερο από ό,τι απορροφώνται από το κολλαγόνο της εξωκυττάριας ουσίας), με αποτέλεσμα τη μετατροπή των μορίων νερού σε ατμό, που υπό πίεση διαρρηγνύει την εξωκυττάρια ουσία δίκην θερμικής έκρηξης (thermal explosion). Υποστηρίζεται μάλιστα, ότι τα laser ερβίου δρουν με το μηχανισμό αυτό και στους μαλακούς ιστούς, δηλαδή με τρόπο διαφορετικό από ό,τι τα laser των μαλακών ιστών (soft tissue lasers), όπως Nd:YAG, δίοδοι, διοξειδίου του άνθρακα κ.ά. (van As 2004). Τα τελευταία διαπερνούν τα μόρια του νερού και διεισδύουν σε μεγαλύτερο βάθος στο εσωτερικό των μαλακών ιστών, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν και καλύτερη αιμόσταση συγκριτικά με τα laser ερβίου (Lee 1998, Puricelli και συν. 2000, van As 2004).

Τέλος, έχει αναφερθεί και η δυνατότητα χρήσης των laser ερβίου κατά την αποκάλυψη οδοντικών εμφυτευμάτων (Arnabat-Dominguez και συν. 2003), η οποία δεν υπάγεται στη θεματολογία της παρούσας ανασκόπησης.

Συνοψίζοντας αναφορικά με την επίδραση του μήκους κύματος των ακτίνων laser στην απορρόφησή τους, μπορεί να παρατηρηθεί ότι τα μικρά μήκη κύματος (της τάξης των 500-1000 nm) απορροφώνται έντονα από τις χρωστικές (π.χ. μελανίνη) ή μόρια που περιέχουν χρωστικές (π.χ. αιμοσφαιρίνη) και επομένως από τους μαλακούς ιστούς, όπως συμβαίνει με τα laser αργού, Nd:YAG και τις δίοδους. Τα μεγαλύτερα μήκη κύματος, όπως των laser ερβίου (ελαφρά μικρότερα των 3000 nm), απορροφώνται τόσο από το νερό, όσο και από τον υδροξυαπατίτη και επομένως τόσο από τους μαλακούς, όσο και από τους σκληρούς ιστούς, αντίστοιχα. Είναι αξιοσημείωτο, ότι η απορρόφηση μίας ακτίνας laser μήκους κύματος 3000 nm είναι περίπου 10000 φορές μεγαλύτερη από άλλη ακτίνα μήκους κύματος 1000 nm (Gimbel 2000). Τέλος, το μήκος κύματος του laser διοξειδίου του άνθρακα (10600 nm) συσχετίζεται με καλή απορρόφηση από το νερό και την υψηλότερη απορρόφηση, συγκριτικά με τις υπόλοιπες συσκευές laser, από τις οδοντικές ουσίες (Coluzzi 2004).

Ερευνητική τεκμηρίωση των κλινικών εφαρμογών των συσκευών laser στη μη χειρουργική περιοδοντική θεραπεία

Μία σειρά από προοπτικές κλινικές έρευνες έχουν συνεισφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την ερευνητική τεκμηρίωση της κλινικής εφαρμογής των συσκευών laser στη θεραπεία της χρόνιας περιοδοντίτιδας βραδείας εξέλιξης, όπως αναπτύσσεται αναλυτικά στις παραγράφους που ακολουθούν:

Laser Nd:YAG

Μία βραχυπρόθεσμη προοπτική έρευνα (Ben Hatit και συν. 1996) συνέκρινε την επίδραση στα επίπεδα ορισμένων κύριων περιοδοντοπαθογόνων βακτηρίων (*A. actinomycetemcomitans*, *T. forsythia*, *P. gingivalis*, *T. denticola*) του συνδυασμού του Nd:YAG laser και της ριζικής απόξεσης με μηχανικά εργαλεία (πειραματική ομάδα) με αυτήν της ριζικής απόξεσης μόνον με μηχανικά εργαλεία (ομάδα ελέγχου). Συνολικά, συμπεριελήφθησαν 14 ασθενείς με 150 περιοχές με περιοδοντικούς θυλάκους ≥ 5 mm. Η πειραματική ομάδα περιελάμβανε 100 θυλάκους, που υποδιαιρέθηκαν περαιτέρω σε τέσσερις ομάδες, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά (ισχύς, συχνότητα, πυκνότητα ενέργειας ανά επιφάνεια) των ακτίνων laser που χρησιμοποιήθηκαν: α) 0.8 W, 10 Hz, 100 mJ/pulse, β) 1.0 W, 1.0 Hz, 100 mJ/pulse, γ) 1.2 W, 12 Hz, 100 mJ/pulse και δ) 1.5 W, 15 Hz, 100 mJ/pulse. Η ομάδα ελέγχου περιελάμβανε τους υπόλοιπους 50 θυλάκους. Η μικροβιολογική ανάλυση δειγμάτων της πειραματικής ομάδας έδειξε μείωση των επιπέδων των βακτηρίων *T. forsythia*, *P. gingivalis*, *T. denticola* αμέσως μετά τη θεραπεία, αλλά στις 10 εβδομάδες τα επίπεδα των βακτηρίων επανήλθαν στα επίπεδα προ της θεραπείας. Στους περιορισμούς αυτής της έρευνας συγκαταλέγονται η απουσία αναφοράς κλινικών παραμέτρων, το σχετικά μικρό μέγεθος δείγματος ασθενών και ο βραχύς χρόνος παρακολούθησης.

Σε άλλη προοπτική έρευνα της ίδιας χρονικής

περιόδου (Radvar και συν. 1996), συμπεριελήφθησαν 11 ασθενείς με 80 περιοδοντικούς θυλάκους σε δόντια προγραμματισμένα για εξαγωγή. Οι περιοχές αυτές υποδιαιρέθηκαν σε τέσσερις ομάδες:

- α) Θεραπεία με laser (50 mJ, 10 rps) επί τρία λεπτά,
- β) Θεραπεία με laser (80 mJ, 10 rps) επί τρία λεπτά,
- γ) Αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία,
- δ) Καμία θεραπευτική ενέργεια (ομάδα ελέγχου).

Έξι εβδομάδες μετά τη θεραπεία, μόνο η ομάδα που είχε θεραπευτεί με μηχανικά εργαλεία παρουσίασε στατιστικά σημαντική βελτίωση ως προς την αιμορραγία στην ανίχνευση (ελάττωση κατά 45%), το βάθος των θυλάκων (μέση ελάττωση κατά 1.7 mm) και το σύνολο των αναερόβιων αποικιακών μονάδων (colony forming units, cfu). Η έρευνα έδειξε ότι το Nd:YAG laser ήταν ασφαλές ως προς την πρόκληση καταστροφής στις οδοντικές επιφάνειες, αλλά ως μοναδικό μέσο θεραπείας (μονοθεραπεία) απέτυχε να βελτιώσει τις κλινικές και μικροβιολογικές παραμέτρους στις περιοδοντικά προσβεβλημένες περιοχές περισσότερο από ό,τι η συμβατική αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία (παρέσχε μέση ελάττωση αιμορραγίας στην ανίχνευση 10% και μέση μείωση βάθους θυλάκων 0.5 mm). Πρέπει να επισημανθεί όμως, ότι ο αριθμός των ασθενών της μελέτης αυτής κρίνεται μικρός για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Σε μεταγενέστερη διπλά τυφλή και τυχοποιημένη προοπτική έρευνα (Neill & Mellonig 1997), 10 ασθενείς με περιοδοντικούς θυλάκους υποδιαιρέθηκαν τυχαία στις ακόλουθες ομάδες: α) Αποτρύγωση και ριζική απόξεση μόνον με μηχανικά εργαλεία, β) Συνδυασμός Nd:YAG laser και μηχανικών εργαλείων, γ) καμία θεραπευτική ενέργεια (ομάδα ελέγχου). Στην ομάδα με Nd:YAG laser, χρησιμοποιήθηκε ισχύς 80 mJ, συχνότητα 25 Hz και διάρκεια 5-10 sec για θυλάκους 4 mm, 20 sec για θυλάκους 4-6 mm, 30 sec για θυλάκους 7-9 mm και τέλος 40 sec για θυλάκους 9 mm. Έξι μήνες μετά τη θεραπεία, παρατηρήθηκε ότι ο συνδυα-

σμός της χρήσης του Nd:YAG laser με μηχανικά εργαλεία συσχετίστηκε με στατιστικά σημαντική βελτίωση της αιμορραγίας στην ανίχνευση (δεν αναφέρθηκε η μεταβολή της) και του κλινικού βάθους των θυλάκων (μέση ελάττωση 1.7 mm) συγκριτικά με την έναρξη (baseline) της έρευνας. Επιπρόσθετα, η προσθήκη της χρήσης του Nd:YAG laser στη θεραπεία με μηχανικά εργαλεία συσχετίστηκε με ένα βελτιωμένο κλινικό θεραπευτικό αποτέλεσμα, συγκριτικά με τη χρήση μόνον των μηχανικών εργαλείων. Η έρευνα αυτή έχει ως βασικό περιορισμό της το σχετικά μικρό μέγεθος δείγματος των ασθενών.

Σε άλλη συγκριτική έρευνα (Liu και συν. 1999) συμμετείχαν οκτώ ασθενείς με περιοδοντικούς θυλάκους 4-6 mm και οριζόντια οστική απώλεια σε μονόριζα δόντια και στα τέσσερα τεταρτημόρια της στοματικής κοιλότητας. Τέσσερις θεραπευτικές διαδικασίες αντιστοιχίστηκαν τυχαία και χρησιμοποιήθηκαν στα τέσσερα αυτά τεταρτημόρια (μία διαφορετική θεραπεία για έκαστο τεταρτημόριο):

- α) Υποουλική εφαρμογή ακτίνων Nd:YAG laser (20 rps, 150 mJ) ως μονοθεραπεία,
- β) Αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία ως μονοθεραπεία,
- γ) Αρχικά χρήση Nd:YAG laser, ακολουθούμενη έξι εβδομάδες αργότερα από αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία,
- δ) Αρχικά αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία, ακολουθούμενη έξι εβδομάδες αργότερα από τη χρήση Nd:YAG laser.

Πραγματοποιήθηκε συλλογή ουλικού υγρού από 52 περιοδοντικά προσβεβλημένες περιοχές και μέτρηση της ποσότητας της ιντερλευκίνης-1β (IL-1β) στο ουλικό υγρό με τη μέθοδο ELISA, τόσο κατά την έναρξη (baseline) της έρευνας, όσο και κάθε δύο εβδομάδες μέχρι τις 12 εβδομάδες συνολικά. Η IL-1β θεωρείται ο πιο γνωστός παράγοντας οστικής απορρόφησης (Stashenko και συν. 1987). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε όλες τις ομάδες μειώθηκαν τα επίπεδα IL-1β μετά τη θεραπεία, αλλά η ελάττωση αυτή ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη στην ομάδα με μηχανικά εργαλεία ως μονοθεραπεία συγκριτικά με την ομάδα

με laser ως μονοθεραπεία για ολόκληρη τη διάρκεια των 12 εβδομάδων. Επιπλέον, η χρήση αρχικά του laser, ακολουθούμενη από τη χρήση μηχανικών εργαλείων φάνηκε αποτελεσματικότερη ως προς τη μείωση της IL-1β συγκριτικά τόσο με τη χρήση αρχικά των μηχανικών εργαλείων, ακολουθούμενης από laser, όσο και της χρήσης laser ως μονοθεραπείας. Τα ευρήματα αυτά τονίζουν ιδιαίτερα τη σημασία της χρήσης των μηχανικών εργαλείων, είτε χρησιμοποιηθούν laser, είτε όχι. Επιπρόσθετα, οι συγγραφείς θεώρησαν ότι όταν χρησιμοποιούνται laser ως προπαρασκευαστικό στάδιο για την επακόλουθη μηχανική απομάκρυνση της τρυγίας, εξασθενούν τους δεσμούς της τρυγίας με τη ριζική επιφάνεια και συνεπώς καθιστούν κλινικά ευκολότερη την αφαίρεση της τρυγίας με τα μηχανικά εργαλεία (Liu και συν. 1999).

Σε μεταγενέστερη προοπτική έρευνα (Gutknecht και συν. 2002), όπου θεραπευτικά αντιμετώπιστηκαν περιοδοντικοί θύλακοι 4-6 mm σε 20 ασθενείς, συγκρίθηκε η εφαρμογή του συνδυασμού της αποτρύγωσης και ριζικής απόξεσης με μηχανικά εργαλεία και Nd:YAG laser μία φορά κάθε εβδομάδα επί τρεις εβδομάδες με τη χρήση αποτρύγωσης και ριζικής απόξεσης αποκλειστικά με μηχανικά εργαλεία άπαξ, καθώς και με τη μη εφαρμογή θεραπευτικής παρέμβασης (ομάδα ελέγχου). Μετά από περίοδο παρακολούθησης 175 ημερών, δε βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων ως προς τη μείωση της αιμορραγίας στην ανίχνευση και του κλινικού βάθους των θυλάκων.

Μία άλλη προοπτική τυχαιοποιημένη συγκριτική έρευνα (Miyazaki και συν. 2003), συνέκρινε την αποτελεσματικότητα της περιοδοντικής θεραπείας με Nd:YAG laser (100 mJ, 20 pps, 2 W, 120 sec) με αυτής της χρήσης laser διοξειδίου του άνθρακα (2 W, 120 sec) ή συσκευής υπερήχων (μέγιστη ισχύς, 120 sec). Όλες οι εφαρμοζόμενες μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν ως μονοθεραπείες. Συνολικά, 18 ασθενείς με 41 περιοχές βάθους θυλάκων >5 mm υποδιαιρέθηκαν τυχαία και υποβλήθηκαν στις παραπάνω τρεις διαδικασίες. Κατά την έναρξη της έρευνας (baseline) και μία, τέσσερις και

12 εβδομάδες μετά, εξετάστηκαν κλινικές περιοδοντικές παράμετροι (δείκτης πλάκας και αιμορραγίας, αιμορραγία κατά την ανίχνευση, κλινικό βάθος θυλάκων και κλινική απώλεια πρόσφυσης), πραγματοποιήθηκε ποσοτική ανάλυση του βακτηρίου *P. gingivalis* της υποουλικής μικροβιακής πλάκας με αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR), καθώς και μέτρηση της ποσότητας IL-1β του ουλικού υγρού με τη μέθοδο ELISA. Στις τρεις ομάδες παρατηρήθηκε βελτίωση των κλινικών παραμέτρων μετά τη θεραπεία σε σύγκριση με τα αρχικά δεδομένα, όμως μεταξύ των ομάδων δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στην ομάδα με Nd:YAG laser, καθώς και στην ομάδα με συσκευή υπερήχων, μειώθηκε ποσοτικά ο *P. gingivalis*, καθώς και η ποσότητα του ουλικού υγρού σε στατιστικά σημαντικό βαθμό 12 μήνες μετά τη θεραπεία συγκριτικά με τα αρχικά δεδομένα. Επιπλέον, στην ομάδα με Nd:YAG laser παρατηρήθηκε τάση μείωσης της ποσότητας της IL-1β από την πρώτη έως τη 12η εβδομάδα, αλλά η διαφορά αυτή δεν έφτασε σε στατιστικά σημαντικά επίπεδα.

Μία προοπτική τυχαιοποιημένη έρευνα (Noguchi και συν. 2005) σχεδιάστηκε με σκοπό να εκτιμηθεί η επίδραση του Nd:YAG laser με ή χωρίς την ταυτόχρονη τοπική εφαρμογή αντιβιοτικού (μινοκυκλίνης) ή διακλυσμούς με ιωδιούχο ποβιδόνη στις κλινικές και μικροβιολογικές παραμέτρους θυλάκων >4 mm 16 ασθενών με χρόνια περιοδοντίτιδα βραδείας εξέλιξης. Συνολικά, 135 περιοδοντικά προσβεβλημένες περιοχές υποδιαιρέθηκαν τυχαία και υπεβλήθησαν μία φορά εβδομαδιαία επί ένα μήνα στις εξής θεραπευτικές διαδικασίες:

- α) χρήση Nd:YAG laser (10 pps, 200 mJ, 90 sec) ως μονοθεραπείας,
- β) χρήση Nd:YAG laser (10 pps, 200 mJ, 90 sec), ακολουθούμενη από τοπική εφαρμογή μινοκυκλίνης,
- γ) χρήση Nd:YAG laser (10 pps, 200 mJ, 90 sec), ακολουθούμενη από διακλυσμούς με ιωδιούχο ποβιδόνη,
- δ) καμία θεραπευτική ενέργεια (ομάδα ελέγχου). Στις τρεις πειραματικές ομάδες παρατηρήθη-

κε βελτίωση ως προς το κλινικό βάθος θυλάκων (laser: 1.57 mm, laser & μιννοκυκλίνη: 2.39 mm, laser & ιωδιούχος ποβιδόνη: 1.60 mm) και το κλινικό επίπεδο πρόσφυσης (laser: 1.52 mm, laser & μιννοκυκλίνη: 2.36 mm, laser & ιωδιούχος ποβιδόνη: 1.62 mm) τρεις μήνες μετά τη θεραπεία, ενώ στην ομάδα ελέγχου δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή ως προς αυτές τις κλινικές παραμέτρους. Η ομάδα με συνδυασμό Nd:YAG laser και τοπικής εφαρμογής μιννοκυκλίνης παρουσίασε το καλύτερο θεραπευτικό αποτέλεσμα τόσο κλινικά (ως προς την ελάττωση του κλινικού βάθους θυλάκων και της κλινικής απώλειας πρόσφυσης), όσο και μικροβιολογικά (ως προς την ελάττωση των αναλογιών των περιοδοντοπαθογόνων βακτηρίων *P. gingivalis*, *T. forsythia*, *P. intermedia*) τρεις μήνες μετά τη θεραπεία.

Σε μία άλλη προοπτική τυχαιοποιημένη μελέτη (Sjöström & Friskopp 2002), χρησιμοποιήθηκε μία συσκευή laser, που παρήγαγε ακτίνες laser Nd:NCG, που έχουν μήκος κύματος 1061 nm και ουσιαστικά είναι ισοδύναμες των ακτίνων Nd:YAG, που έχουν μήκος κύματος 1064 nm. Στην έρευνα συμμετείχαν 27 ασθενείς με χρόνια περιοδοντίτιδα βραδείας εξέλιξης και θυλάκους από 4 mm και άνω. Οι πειραματικές περιοχές αναισθητοποιήθηκαν με ακτίνες laser και στη συνέχεια οι ριζικές επιφάνειες των περιοδοντικά προσβεβλημένων δοντιών ακτινοβολήθηκαν με ακτίνες laser υψηλότερης ισχύος, ακολούθως υποβλήθηκαν σε ριζική απόξεση με κοχλιάρια και η διαδικασία ολοκληρώθηκε με μία τελική ακτινοβολή με laser. Οι περιοχές ελέγχου (control sites) εντοπιζόνταν πάντα στο αντίθετο τεταρτημόριο (split-mouth) και σε αυτές πραγματοποιείτο μόνον ριζική απόξεση με κοχλιάρια. Τέσσερις μήνες μετά τη θεραπεία, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των πειραματικών περιοχών και των περιοχών ελέγχου ως προς τον ουλικό δείκτη αιμορραγίας και ως προς τη μέση μείωση του κλινικού βάθους των θυλάκων (μέση μείωση: 1.4 mm και στις δύο ομάδες). Παρ' όλα αυτά, διαπιστώθηκε ότι η χρήση του Nd:YAG laser είχε ορισμένα κλινικά πλεονεκτήματα, όπως τη μείωση της αιμορραγίας κατά τη διάρκεια της ριζικής απόξεσης και την αύξηση

της ορατότητας του θεράποντα (ιδιαίτερα σε ασθενείς με έντονη αιμορραγική τάση) και την ευκολότερη αφαίρεση των μικρών εναποθέσεων τρυγίας με μηχανικά εργαλεία, αφού είχε προηγηθεί η χρήση των laser.

Laser Nd:YAP

Σε σχετικά πρόσφατη προοπτική έρευνα (El Yazami και συν. 2004), 22 ασθενείς με χρόνια περιοδοντίτιδα βραδείας εξέλιξης και θυλάκους με μέσο αρχικό κλινικό βάθος της τάξης των 5-5.5 mm υποβλήθηκαν σε περιοδοντική θεραπεία, είτε με συνδυασμό αποτρύγωσης και ριζικής απόξεσης με μηχανικά εργαλεία και χρήση ακτίνων laser Nd:YAP (70 mJ, 30 Hz) (πειραματική ομάδα), είτε με τη βοήθεια αποκλειστικά των εργαλείων (ομάδα ελέγχου). Έξι μήνες μετά τη θεραπεία, η πειραματική ομάδα πλεονεκτούσε σε στατιστικά σημαντικό βαθμό ως προς τη βελτίωση των κλινικών περιοδοντικών παραμέτρων (μέση μείωση κλινικού βάθους θυλάκων και κλινικής απώλειας πρόσφυσης).

Σε άλλη προοπτική έρευνα (Ambrosini και συν. 2005), 30 ασθενείς με περιοδοντικούς θυλάκους ≥ 5 mm θεραπεύτηκαν με συνδυασμό αποτρύγωσης και ριζικής απόξεσης με μηχανικά εργαλεία και χρήση Nd:YAP laser από το ένα τεταρτημόριο (πειραματικές περιοχές), ενώ στο αντίθετο τεταρτημόριο (split-mouth) οι περιοδοντικά προσβεβλημένες περιοχές θεραπεύτηκαν μόνον με εργαλεία (περιοχές ελέγχου). Τρεις μήνες μετά τη θεραπεία, οι δύο θεραπευτικές διαδικασίες προκάλεσαν στατιστικά σημαντική βελτίωση ως προς το κλινικό βάθος των θυλάκων και την κλινική απώλεια πρόσφυσης συγκριτικά με την έναρξη (baseline) της έρευνας, όμως μεταξύ τους δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές όχι μόνο ως προς τις κλινικές παραμέτρους, αλλά ούτε και ως προς τις αναλογίες των περιοδοντοπαθογόνων βακτηρίων ή τα επίπεδα μετεγχειρητικού πόνου των ασθενών. Κατά συνέπεια, η προσθήκη του Nd:YAP laser δε φάνηκε να παρέχει κάποιο επιπρόσθετο θεραπευτικό όφελος.

Laser Er:YAG

Σε μία τυχαίοποιημένη προοπτική έρευνα (Schwarz και συν. 2001b) συμπεριελήφθησαν 20 ασθενείς με μέση προς προκεχωρημένη χρόνια περιοδοντίτιδα βραδείας εξέλιξης και τα τεταρτημόρια υπεβλήθησαν τυχαία, ανάλογα με το ημιμόριο της στοματικής κοιλότητας που ανήκαν (δεξιά ή αριστερά), είτε σε περιοδοντική θεραπεία μόνον με Er:YAG laser (160 mJ/pulse, 10 Hz), είτε σε αποτρύγωση και ριζική απόξεση αποκλειστικά με μηχανικά εργαλεία. Έξι μήνες μετά τη θεραπεία, η ομάδα των περιοχών που είχαν θεραπευτεί με Er:YAG laser παρουσίασε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη βελτίωση ως προς την αιμορραγία στην ανίχνευση, το κλινικό βάθος θυλάκων και το κλινικό επίπεδο πρόσφυσης σε σύγκριση με την ομάδα των περιοχών που είχαν αντιμετωπιστεί με τη χρήση μηχανικών εργαλείων. Η συχνότητα των βακτηριακών ειδών δειγμάτων υποουλικής πλάκας που αναλύθηκαν με μικροσκόπιο σκοτεινού πεδίου (dark-field microscopy) δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων. Οι κόκκοι και τα μη κινητά βακτηρίδια αυξήθηκαν, ενώ τα κινητά βακτηρίδια και οι σπειροχαίτες μειώθηκαν και στις δύο ομάδες, γεγονός που αποδεικνύει την ύπαρξη λιγότερο περιοδοντοπαθογόνου μικροβιακού φορτίου μετά τη θεραπεία. Συμπερασματικά, η χρήση του Er:YAG laser φάνηκε επιτυχής για τη φάση ελέγχου της φλεγμονής. Ιδιαίτερα σημαντική από κλινική άποψη φαίνεται και η επισήμανση των ερευνητών (Schwarz και συν. 2001b) ότι στους αβαθείς θυλάκους δεν παρατηρήθηκε διαφορά αποτελεσματικότητας μεταξύ Er:YAG laser και εργαλείων, ενώ στους βαθείς θυλάκους υπήρχε σημαντική διαφορά υπέρ του laser, γεγονός που τονίζει τη σημασία του βάθους των θεραπευόμενων θυλάκων ως κριτηρίου (παραμέτρου) επιλογής της κατάλληλης θεραπευτικής διαδικασίας.

Τα αποτελέσματα της ίδιας κλινικής έρευνας δύο έτη μετά τη θεραπεία (Schwarz και συν. 2003b), έδειξαν ότι το κλινικό επίπεδο πρόσφυσης δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική μεταβολή μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου έτους

μετά τη θεραπεία, τόσο για την ομάδα του Er:YAG laser, όσο και για αυτήν των μηχανικών εργαλείων. Πρέπει όμως να παρατηρηθεί ότι και στις δύο ομάδες υπήρξε μία μικρή, μη στατιστικά σημαντική, αύξηση της μέσης απώλειας πρόσφυσης μεταξύ του πρώτου και δεύτερου έτους παρατήρησης. Η επιδείνωση αυτή πιθανόν μπορεί να αποδοθεί στη μέτρια στοματική υγιεινή των ασθενών και των δύο ομάδων, όπως φαίνεται από την αύξηση του μέσου δείκτη πλάκας τους, που είναι ενδεικτική της αυξημένης κατακράτησης πλάκας, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι η αύξηση αυτή δεν ανήλθε σε στατιστικά σημαντικά επίπεδα. Είναι σημαντική επίσης η επισήμανση ότι και στις δύο ομάδες μετά από δύο έτη παρατηρήθηκε αύξηση της αναλογίας των σπειροχαιτών και μείωση της αναλογίας των κόκκων και των μη κινητών βακτηριδίων, μεταβολές που οπωσδήποτε δεν είναι συμβατές με τη βελτίωση της περιοδοντικής κατάστασης των ασθενών (Listgarten & Helldén 1978, Slots και συν. 1985, Κωτσοβίλης και συν. 2003).

Σε άλλη τυχαίοποιημένη προοπτική έρευνα (Schwarz και συν. 2003c), 20 ασθενείς με μέση προς προκεχωρημένη χρόνια περιοδοντίτιδα βραδείας εξέλιξης υποδιαιρέθηκαν τυχαία με τον ίδιο τρόπο όπως στην προηγούμενη έρευνα (Schwarz και συν. 2001b) να υποβληθούν σε μη χειρουργική θεραπεία, είτε με συνδυασμό Er:YAG laser (160 mJ/pulse, 10 Hz) και αποτρύγωσης και ριζικής απόξεσης με μηχανικά εργαλεία (πειραματικές περιοχές), είτε αποκλειστικά με Er:YAG laser. Η μέτρηση των κλινικών περιοδοντικών παραμέτρων (δείκτη πλάκας, αιμορραγίας κατά την ανίχνευση, κλινικού βάθους θυλάκων και κλινικής απώλειας πρόσφυσης), καθώς και η αξιολόγηση της σύνθεσης της υποουλικής μικροβιακής πλάκας με μικροσκόπιο σκοτεινού πεδίου, έδειξαν ότι και οι δύο θεραπευτικές διαδικασίες προκάλεσαν στατιστικά σημαντική βελτίωση όλων των κλινικών και μικροβιολογικών παραμέτρων 12 μήνες μετά τη θεραπεία συγκριτικά με τις τιμές τους πριν από τη θεραπεία. Η προσθήκη όμως της αποτρύγωσης και ριζικής απόξεσης στη χρήση του Er:YAG laser δεν προσέδωσε στατιστικά σημαντι-

κά βελτιωμένο θεραπευτικό αποτέλεσμα ως προς κάποια από τις κλινικές και μικροβιολογικές παραμέτρους. Συμπερασματικά, η χρήση του Er:YAG laser ως μονοθεραπεία φάνηκε αποτελεσματική για την πραγματοποίηση της φάσης ελέγχου της φλεγμονής.

Μία τυχαίοποιημένη προοπτική μελέτη με παρόμοιο σχεδιασμό (Sculean και συν. 2004) σε 20 ασθενείς με μέση προς προκεχωρημένη περιοδοντίτιδα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το Er:YAG laser (160 mJ/pulse, 10 Hz) είναι εξίσου αποτελεσματικό με μία συσκευή υπερήχων ως προς τη βελτίωση των κλινικών περιοδοντικών παραμέτρων που προαναφέρθηκαν, έξι μήνες μετά την πραγματοποίηση της φάσης ελέγχου της φλεγμονής. Στην έρευνα αυτή επίσης, το δείγμα ήταν σχετικά μικρό για να επιτρέψει την τεκμηρίωση αδιαμφισβήτητων συμπερασμάτων.

Δίοδοι laser

Μέχρι σήμερα, έχουν πραγματοποιηθεί προοπτικές έρευνες για τη χρήση της διόδου συσκευής laser μείγματος γαλλίου και αρσενικού (GaAs diode) (Rydén και συν. 1994, Moritz και συν. 1998, Yilmaz και συν. 2002), ινδίου, γαλλίου, αρσενικού και φωσφόρου (InGaAsP diode) (Borrajo και συν. 2004), μείγματος ινδίου, γαλλίου, αργιλίου και φωσφόρου (InGaAlP diode) και μείγματος γαλλίου, αργιλίου και αρσενικού (GaAlAs diode) (Quadri και συν. 2005).

Αρχικά, είχε διατυπωθεί η υπόθεση ότι η χρήση συσκευών laser χαμηλής ενέργειας (low level energy lasers), με ισχύ 1 mW έως 50 mW, όπως της διόδου γαλλίου και αρσενικού (GaAs diode), επειδή διεισδύουν στους βιολογικούς ιστούς σε βάθος μερικών χιλιοστών, θα μπορούσαν πιθανόν να ενισχύουν τη διαδικασία ιστικής επούλωσης γενικά (Mester και συν. 1985) και ειδικότερα στους φλεγμαίνοντες ουλικούς ιστούς (Kert & Rose 1989). Ο έλεγχος της υπόθεσης αυτής από μία τυχαίοποιημένη διπλά "τυφλή" ελεγχόμενη έρευνα, στην οποία με μία στερεοφωτογραφική τεχνική αξιολογήθηκε η επίδραση της διόδου GaAs (1 J/cm² επί 4 min) στις αγγειακές μεταβολές στα ούλα 10 ασθενών

με ουλίτιδα (αλλά όχι περιοδοντίτιδα) 28 μέρες μετά την ακτινοβολήση, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η υπόθεση αυτή δεν ισχύει, δηλαδή ότι δεν επηρεάζεται η φλεγμονώδης αντίδραση των ούλων (Rydén και συν. 1994).

Σε μία μεταγενέστερη τυχαίοποιημένη ελεγχόμενη προοπτική έρευνα (Moritz και συν. 1998), 50 ασθενείς με χρόνια περιοδοντίτιδα βραδείας εξέλιξης με θυλάκους μέσου βάθους της τάξης των 4 mm υποδιαιρέθηκαν τυχαία σε δύο ομάδες. Η πειραματική ομάδα υπεβλήθη σε θεραπεία με συνδυασμό αποτρύγωσης και ριζικής απόξεσης με μηχανικά εργαλεία και της χρήσης διόδου laser GaAs (2.5 W, 50 Hz) με συμπληρωματική ακτινοβολήση μία εβδομάδα, δύο και τέσσερις μήνες μετά, ενώ η ομάδα ελέγχου σε αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία, ακολουθούμενη από πλύσεις με υπεροξειδίου του υδρογόνου μία εβδομάδα, δύο και τέσσερις μήνες αργότερα. Έξι μήνες μετά την αρχική θεραπεία διαπιστώθηκε ότι η ελάττωση του ολικού αριθμού των περιοδοντοπαθογόνων βακτηρίων *A. actinomycetemcomitans*, *P. intermedia* και *P. gingivalis* σε δείγματα υποουλικής πλάκας ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη στην πειραματική ομάδα συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου, υποδηλώνοντας τη βακτηριοκτόνο επίδραση της διόδου laser GaAs. Επιπρόσθετα, στατιστικά σημαντικές διαφορές υπέρ της επιπρόσθετης θεραπείας με τη συγκεκριμένη συσκευή laser αναφέρθηκαν και για τη μείωση της αιμορραγίας κατά την ανίχνευση, καθώς και του κλινικού βάθους των θυλάκων. Πρέπει να παρατηρηθεί πάντως ότι στην έρευνα αυτή, η διαδικασία που επελέγη στην ομάδα ελέγχου δε φαίνεται ακριβής, διότι κατά την πρώτη εβδομάδα και στους δύο και τέσσερις μήνες πραγματοποιήθηκαν μόνον διακλυσμοί με υπεροξειδίου του υδρογόνου, ενώ ιδανικά θα έπρεπε να έχει επαναληφθεί και η αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία.

Σε μία άλλη τυχαίοποιημένη ελεγχόμενη προοπτική έρευνα (Yilmaz και συν. 2002), 10 ασθενείς με χρόνια περιοδοντίτιδα βραδείας εξέλιξης υπεβλήθησαν στις εξής τέσσερις θεραπευτικές διαδικασίες (μία διαδικασία ανά τεταρτημόριο της στο-

ματικής κοιλότητας):

- α) Αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία,
- β) Χρήση διόδου laser GaAs (1.6 J/cm^2) μετά τον υπερουλικό διακλυσμό με κυανούν του μεθυλενίου (methylene blue) ως φωτοευαισθητοποιητή (photosensitizer),
- γ) συνδυασμός της αποτρύγωσης και ριζικής απόξεσης με μηχανικά εργαλεία και της χρήσης διόδου laser GaAs (1.6 J/cm^2) μετά τον υπερουλικό διακλυσμό με κυανούν του μεθυλενίου (methylene blue),
- δ) εφαρμογή αποκλειστικά οδηγίων στοματικής υγιεινής.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε τέσσερα μονόριζα δόντια σε κάθε ασθενή (ένα δόντι ανά έκαστο τεταρτημόριο) με βάθος θυλάκου 4 mm εγγύς παρειακά του δοντιού. Μετά την πάροδο περίπου ενός μηνός (32 ημερών), διαπιστώθηκε ότι η χρήση των μηχανικών εργαλείων ως μονοθεραπείας ή σε συνδυασμό με laser προκαλούσε στατιστικά σημαντική βελτίωση ως προς την αιμορραγία κατά την ανίχνευση, το κλινικό βάθος των θυλάκων και την αναλογία των υποχρεωτικώς αναερόβιων βακτηρίων. Αντίθετα, η χρήση της διόδου laser GaAs ως μονοθεραπείας προκάλεσε ελαφρά βελτίωση μικροβιολογικά και κλινικά (μόλις 17% μέση μείωση της αιμορραγίας κατά την ανίχνευση και 0.23 mm μέση ελάττωση του κλινικού βάθους των θυλάκων). Συμπερασματικά, φάνηκε ότι η χρήση της διόδου laser GaAs ως μονοθεραπείας δεν είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική, αλλά και ότι ούτε η επιπρόσθετη εφαρμογή της στη συμβατική θεραπεία με μηχανικά εργαλεία προκαλεί μικροβιολογική ή κλινική βελτίωση του θεραπευτικού αποτελέσματος. Πρέπει να παρατηρηθεί ότι ο χρόνος παρακολούθησης του ενός μηνός είναι υποτυπώδης και ανεπαρκής για την εξαγωγή ασφαλών τελικών συμπερασμάτων.

Σε πιο πρόσφατη τυχαίοποιημένη ελεγχόμενη προοπτική έρευνα (Borrajó και συν. 2004), 30 ασθενείς με χρόνια περιοδοντίτιδα βραδείας εξέλιξης μέσης βαρύτητας υποδιαιρέθηκαν τυχαία σε δύο ομάδες. Η πειραματική ομάδα υποβλήθηκε σε θεραπεία με συνδυασμό αποτρύγωσης και

ριζικής απόξεσης με μηχανικά εργαλεία και χρήση διόδου laser ινδίου, γαλλίου, αρσενικού και φωσφόρου (InGaAsP laser, 980 nm, 2W, 70 mJ, 30 Hz), ενώ η ομάδα ελέγχου υποβλήθηκε σε θεραπεία αποκλειστικά με συνδυασμό αποτρύγωσης και ριζικής απόξεσης με μηχανικά εργαλεία. Μετά την πάροδο 42 ημερών, η πειραματική ομάδα παρουσίασε βελτιωμένη κλινική εικόνα συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου ως προς το κλινικό βάθος των θυλάκων (μέση μείωση: 2.8 mm στην πειραματική ομάδα έναντι 1.3 mm στην ομάδα ελέγχου) και την κλινική απώλεια πρόσφυσης (μέση βελτίωση: 2.6 mm στην πειραματική ομάδα έναντι 1.1 mm στην ομάδα ελέγχου). Παρ' όλα αυτά, οι διαφορές αυτές δεν κατέληξαν σε στατιστικά σημαντικά επίπεδα και επομένως η προσθήκη της διόδου laser InGaAsP από τους ερευνητές θεωρήθηκε ότι προκαλεί την περαιτέρω βελτίωση του θεραπευτικού αποτελέσματος που θα επιτυγχανόταν αποκλειστικά με μηχανικά εργαλεία, αλλά σε μέτριο βαθμό. Από την άλλη πλευρά όμως, πρέπει να τονιστεί ότι ο χρόνος παρακολούθησης των 42 ημερών είναι ιδιαίτερα βραχύς.

Σε μεταγενέστερη διπλά τυφλή ελεγχόμενη προοπτική έρευνα (Qadri και συν. 2005), 17 ασθενείς με χρόνια περιοδοντίτιδα βραδείας εξέλιξης μέσης βαρύτητας (μέσο αρχικό βάθος θυλάκων 4.7 mm). Αρχικά πραγματοποιήθηκε αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία και μία εβδομάδα αργότερα ελήφθησαν δείγματα ουλικού υγρού και υποουλικής μικροβιακής πλάκας. Μετά την πάροδο μίας επιπρόσθετης εβδομάδας, πραγματοποιήθηκε θεραπεία με διόδους laser ινδίου, γαλλίου, αργιλίου και φωσφόρου (InGaAlP diode laser) και γαλλίου, αργιλίου και αρσενικού (GaAlAs diode laser) στο ένα τεταρτημόριο της άνω γνάθου (πειραματική περιοχή), ενώ στο άλλο τεταρτημόριο (περιοχή ελέγχου) χρησιμοποιήθηκε απενεργοποιημένο laser (placebo). Στο πειραματικό τεταρτημόριο αρχικά χρησιμοποιήθηκε το laser InGaAlP (4.5 J/cm^2), ενώ το GaAlAs laser χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια στους βαθείς θυλάκους ($\geq 6 \text{ mm}$). Ακολούθησε κλινική εξέταση και νέα δειγματοληψία ουλικού υγρού, στο οποίο μετρήθηκαν τα επίπεδα ελαστά-

σης, ιντερλευκίνης-1β και μεταλλοπρωτεϊνάσης της θεμέλιας ουσίας-8 (matrix metalloproteinase-8, MMP-8) και υποουλικής μικροβιακής πλάκας, στην οποία εξετάστηκαν 12 βακτήρια με τη βοήθεια μοριακής τεχνικής με τη χρήση ανιχνευτών DNA (DNA probes). Στην ομάδα των πειραματικών περιοχών παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη βελτίωση ως προς τους δείκτες πλάκας και αιμορραγίας, το κλινικό βάθος θυλάκων και την ποσότητα του ουλικού υγρού συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων ως προς τη δραστηριότητα της ελαστάσης, τη συγκέντρωση της ιντερλευκίνης-1β και ως προς τη σύνθεση της υποουλικής πλάκας. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση των διόδων laser InGaAlP και GaAlAs ως συμπληρωματικού μέσου στη συμβατική περιοδοντική θεραπεία με μηχανικά εργαλεία προκάλεσε την περαιτέρω μείωση της περιοδοντικής φλεγμονής. Το συμπέρασμα αυτό, οπωσδήποτε θα πρέπει να τεκμηριωθεί και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα παρακολούθησης των ασθενών.

Laser αργού (Ar)

Στη μοναδική έως σήμερα προοπτική έρευνα που έχει μελετήσει τη χρήση του laser αργού (Finkbeiner 1995), 30 ασθενείς επελέγησαν τυχαία από έναν πληθυσμό 130 ασθενών, που είχαν ήδη υποβληθεί σε θεραπεία με laser αργού και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία. Στους 30 ασθενείς, συνολικά 1328 θύλακοι αντιμετωπίστηκαν με laser αργού (μεταβίβαση με οπτική ίνα διαμέτρου 0.3 mm, 0.4W, 20-30 sec). Μετά την πάροδο 138 ημερών, η αιμορραγία κατά την ανίχνευση μειώθηκε κατά 75%. Κατά μέσο όρο, οι θύλακοι των 4-5 mm μειώθηκαν κατά 1.62 mm, οι θύλακοι των 6-7 mm κατά 2.85 mm και οι θύλακοι των 8-9 mm κατά 3.30 mm. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί κλινικά σημαντικό, αλλά η τεκμηρίωση της χρήσης του laser αργού οπωσδήποτε απαιτεί την ύπαρξη ομάδας ελέγχου (control group), που απουσίαζε από τη συγκεκριμένη έρευνα.

Συμπεράσματα

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που προηγήθηκε προέκυψαν τα ακόλουθα κύρια γενικά συμπεράσματα:

Γενικά συμπεράσματα

- Οι υπάρχουσες έρευνες παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιογένεια μεταξύ τους, για οποιονδήποτε από τους τύπους συσκευών laser, κυρίως ως προς τις εξής παραμέτρους:
 - το σχεδιασμό τους (παράλληλες ομάδες ή μη, ύπαρξη ή μη ομάδας ελέγχου ή λανθασμένη επιλογή ομάδας ελέγχου, ύπαρξη ή μη της τυχαιοποίησης, ύπαρξη ή μη “τυφλού” ελέγχου (blinding) ή τυποποίησης (calibration) των εξεταστών),
 - το μέγεθος του δείγματος των ασθενών (επαρκές ή ανεπαρκές για αξιόπιστη στατιστική δοκιμασία),
 - τη βαρύτητα και την έκταση της χρόνιας περιοδοντίτιδας βραδείας εξελίξης,
 - το θεραπευτικό πρωτόκολλο που έχει επιλεγεί (συσκευές laser ως μονοθεραπεία ή σε συνδυασμό με μηχανικά εργαλεία, αφαιρετικές ή αναπλαστικές χειρουργικές τεχνικές, αντιμικροβιακά μέσα και συνδυασμοί των παραπάνω τεχνικών κατά ποικίλους τρόπους και με ποικίλη χρονική σειρά χρήσης),
 - τις παραμέτρους των συσκευών laser που έχουν χρησιμοποιηθεί (ενέργεια, πυκνότητα ενέργειας ανά επιφάνεια, ενέργεια ανά παλμό, ισχύς, συχνότητα, χρονική διάρκεια παλμού, συνολική χρονική διάρκεια ακτινοβολήσης),
 - τις παραμέτρους αξιολόγησης του θεραπευτικού αποτελέσματος (πλήθος διαφορετικών κλινικών, μικροβιολογικών και βιολογικών παραμέτρων) και
 - τη διάρκεια παρακολούθησης των ασθενών (follow-up).
- Αυτή η υψηλή ετερογένεια (high heterogeneity) καθιστά πολύ δύσκολη έως αδύνατη την

πραγματοποίηση συγκρίσεων, ομαδοποιήσεων των δεδομένων ή στατιστικών μετα-αναλύσεων.

- Στις περισσότερες έρευνες το μέγεθος δείγματος των ασθενών που έχει επιλεγεί είναι σχετικά μικρό, ενώ ο χρόνος παρακολούθησης είναι συνήθως βραχύς. Επιπρόσθετα, οι υπάρχουσες έρευνες στην πλειονότητά τους δεν παρουσιάζουν “τυφλό” έλεγχο (blinding) ή τυποποίηση (calibration) των εξεταστών. Για όλους τους παραπάνω λόγους υπεισέρχεται η πιθανότητα συστηματικού σφάλματος.
- Πολλές έρευνες δεν παρέχουν τις μεταβολές του κλινικού επιπέδου πρόσφυσης, που θεωρείται η πιο σημαντική κλινική παράμετρος που χαρακτηρίζει την εξέλιξη της περιοδοντίτιδας.
- Για την ερευνητική τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας των διάφορων τύπων συσκευών laser σαφώς απαιτούνται περισσότερες καλά σχεδιασμένες έρευνες, κατά προτίμηση μακροπρόθεσμες, τυχαιοποιημένες, “τυφλές” και με ορθά επιλεγμένη ομάδα ελέγχου.

Με δεδομένους τους προαναφερθέντες περιορισμούς της διεθνούς βιβλιογραφίας, είναι δυνατή η εξαγωγή ορισμένων ειδικών συμπερασμάτων, έστω και αν το επίπεδο της τεκμηρίωσής τους δεν είναι υψηλό.

Ειδικά συμπεράσματα

- Οι κύριες εφαρμογές των συσκευών laser στην μη χειρουργική περιοδοντική θεραπεία είναι η απομάκρυνση από τις ριζικές επιφάνειες του μικροβιακού φορτίου και των μικροβιακών ενδοτοξινών, της τρυγίας και του επιφανειακού τμήματος της οστεΐνης, όταν και στην έκταση που αυτό είναι μολυσμένο με μικρόβια ή ενδοτοξίνες τους.
- Οι συσκευές laser αργού, Nd:YAG, Nd:YAP, διοξειδίου του άνθρακα και οι δίοδοι laser απορροφώνται έντονα από τους μαλακούς ιστούς και ελάχιστα από τους σκληρούς ιστούς και για το λόγο αυτό μπορούν να θεωρηθούν και ως laser των μαλακών ιστών (soft tissue lasers).

Αντίθετα, οι συσκευές laser της οικογένειας του ερβίου, δηλαδή Er:YAG και Er,Cr:YSGG, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στους μαλακούς, όσο και στους σκληρούς περιοδοντικούς ιστούς.

- Οι κλινικές προοπτικές έρευνες για τη χρήση των συσκευών laser Nd:YAG και Nd:YAP στη θεραπεία της χρόνιας περιοδοντίτιδας βραδείας εξέλιξης έχουν καταλήξει σε ποικίλα συμπεράσματα. Ορισμένες έρευνες έχουν αναφέρει βελτιωμένο θεραπευτικό αποτέλεσμα από τη χρήση αυτών των συσκευών laser ως επιπρόσθετου θεραπευτικού μέσου στη συμβατική αποτρύγωση και ριζική απόξεση με μηχανικά εργαλεία, ενώ άλλες έρευνες δεν έχουν διαπιστώσει κάποιο επιπρόσθετο κλινικό όφελος από την προσθήκη των παραπάνω τύπων laser. Η εφαρμογή των συσκευών laser Nd:YAG και Nd:YAP ως μονοθεραπείας της χρόνιας περιοδοντίτιδας βραδείας εξέλιξης δεν έχει διερευνηθεί από επαρκή αριθμό ερευνών.
- Οι δίοδοι laser έχουν αναφερθεί από την πλειονότητα των κλινικών ερευνών ως αποτελεσματικό συμπληρωματικό μέσον θεραπείας της χρόνιας περιοδοντίτιδας βραδείας εξέλιξης, σε συνδυασμό με τη συμβατική αποτρύγωση και ριζική απόξεση με τη χρήση μηχανικών εργαλείων. Η χρήση τους ως μονοθεραπείας δεν έχει διερευνηθεί.
- Δεν υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα για την αποτελεσματικότητα ή μη της χρήσης των laser αργού, είτε ως μονοθεραπείας, είτε ως συμπληρωματικού μέσου.
- Η χρήση των συσκευών Er:YAG laser έχει τεκμηριωθεί ως αποτελεσματική για τη μη χειρουργική θεραπεία της χρόνιας περιοδοντίτιδας βραδείας εξέλιξης, τόσο ως μονοθεραπεία, όσο και ως συμπληρωματικό μέσον στη χρήση μηχανικών εργαλείων ή συσκευών υπερήχων. Οι διαθέσιμες έρευνες για την αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου τύπου laser είναι καλύτερα σχεδιασμένες από τις έρευνες αναφορικά με την αποτελεσματικότητα οποιουδήποτε άλλου τύπου laser, αλλά πρέπει να παρατηρηθεί ότι όλες αυτές οι μελέτες έ-

χουν προέλθει μόνον από μία ερευνητική ομάδα.

- Για κάθε τύπο laser ανεξάρτητα, πρέπει να αποσαφηνιστεί κατά πόσον το βάθος των περιοδοντικών θυλάκων πριν από τη θεραπεία επηρεάζει το τελικό κλινικό θεραπευτικό αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται με τη χρήση του laser και επομένως κατά πόσον η χρήση συγκεκριμένων τύπων laser παρουσιάζει ισχυρότερη ένδειξη σε μεγαλύτερης βαρύτητας περιοδοντικές βλάβες ασθενών με χρόνια περιοδοντίτιδα βραδείας εξέλιξης.
- Μέχρι σήμερα δεν έχει πραγματοποιηθεί κάποια έρευνα αναφορικά με τη χρήση των συσκευών laser στη θεραπεία της χρόνιας περιοδοντίτιδας ταχείας εξέλιξης ή επιθετικής περιοδοντίτιδας (aggressive periodontitis) και είναι σαφής η αναγκαιότητα πραγματοποίησης σχετικών ερευνών.

Clinical applications of lasers in non-surgical periodontal therapy

S. Kotsovilis, I. Fourmouis

Abstract

Laser beams may be defined as intense, uniform and coherent (in phase) monochromatic electromagnetic waves, emitted by light sources of a specific type (termed laser devices), when their atoms successively undergo stimulation and stimulated emission, caused by an external electromagnetic wave of a specific wavelength (stimulant wave).

The purpose of the present study was to review and evaluate studies published in the international literature on the clinical applications of lasers in non-surgical periodontal therapy. The available studies demonstrate a high heterogeneity and many of them exhibit certain limitations, primarily relatively small sample size, short periods of follow-up and the absence of information on the changes of clinical attachment level. Despite these shortcomings, the use of the Er:YAG laser seems to be an efficacious modality for the non-surgical treatment of chronic periodontitis, either as a monotherapy or an adjunct to the use of mechanical instrumentation or ultrasonic devices. Positive clinical outcomes have been reported for the use of diode lasers and the Nd:YAG laser as an adjunct to mechanical non-surgical therapy of chronic periodontitis, but their use as monotherapies remains unclear. Finally, sufficient data are lacking on the use of the argon laser for treating chronic periodontitis and for the therapy of aggressive periodontitis by means of any laser type.

Βιβλιογραφία

- Αλεξόπουλος, Κ. Δ. & Μαρίνος, Δ. Ι. (1978) *Φυσική. Τόμος Δεύτερος: Οπτική-Ηλεκτρομαγνητισμός-Ατομική και Πυρηνική Φυσική*, σελ. 349-356, 360. Αθήνα: Εκδόσεις Ολυμπία-Κωνσταντίνος Στρουμπούκης.
- Ambrosini, P., Miller, N., Briançon, S., Gallina, S. & Penaud, J. (2005) Clinical and microbiological evaluation of the effectiveness of the Nd:YAP laser for the initial treatment of adult periodontitis. A randomized controlled study. *Journal of Clinical Periodontology* **32**, 670-676.
- Ando, Y., Aoki, A., Watanabe, H. & Ishikawa, I. (1996) Bactericidal effect of erbium YAG laser on periodontopathic bacteria. *Lasers in Surgery and Medicine* **19**, 190-200.
- Aoki, A., Sasaki, K. M., Watanabe, H. & Ishikawa, I. (2004) Lasers in nonsurgical periodontal therapy. *Periodontology 2000* **36**, 59-97.
- Arnabat-Domínguez, J., España-Tost, A. J., Berini-Aytés, L. & Gay-Escoda, C. (2003) Erbium:YAG laser application in the second phase of implant surgery: a pilot study in 20 patients. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants* **18**, 104-112.
- Barak, S. & Kaplan, I. (1988) The CO₂ laser in the excision of gingival hyperplasia caused by nifedipine. *Journal of Clinical Periodontology* **15**, 633-635.
- Ben Hatit, Y., Blum, R., Severin, C., Maquin, M. & Jabro, M. H. (1996) The effects of a pulsed Nd:YAG laser on subgingival bacterial flora and on cementum: an *in vivo* study. *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery* **14**, 137-143.
- Bohr, N. (1913) On the constitution of atoms and molecules. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine, and Journal of Science Series 6, Vol. 26, No. 151*, 1-25.
- Bohr, N. (1922) *The theory of spectra and atomic constitution; three essays*, 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Borrajó, J. L., Varela, L. G., Castro, G. L., Rodríguez-Nuñez, I. & Torreira, M. G. (2004) Diode laser (980 nm) as adjunct to scaling and root planing. *Photomedicine and Laser Surgery* **22**, 509-512.
- Cobb, C. M. (2006) Lasers in Periodontics: a review of the literature. *Journal of Periodontology* **77**, 545-564.
- Cobb, C. M., McCawley, T. K. & Killoy, W. J. (1992) A preliminary study on the effects of the Nd:YAG laser on root surfaces and subgingival microflora *in vivo*. *Journal of Periodontology* **63**, 701-707.
- Coffelt, D. W., Cobb, C. M., MacNeill, S., Rapley, J. W. & Killoy, W. J. (1997) Determination of energy density threshold for laser ablation of bacteria. An *in vitro* study. *Journal of Clinical Periodontology* **24**, 1-7.
- Coleton, S. (2004) Lasers in surgical periodontics and oral medicine. *Dental Clinics of North America* **48**, 937-962.
- Coluzzi, D. J. (2000) An overview of laser wavelengths used in Dentistry. *Dental Clinics of North America* **44**, 753-765.
- Coluzzi, D. J. (2004) Fundamentals of dental lasers: science and instruments. *Dental Clinics of North America* **48**, 751-770.
- Crespi, R., Barone, A. & Covani, U. (2005) Histologic evaluation of three methods of periodontal root surface treatment in humans. *Journal of Periodontology* **76**, 476-481.
- Damante, C. A., Greggi, S. W. L., Sant'Ana, A. C., Passanezi, E., Taga, R. (2004) Histomorphometric study of the healing of human oral mucosa after gingivoplasty and low-level laser therapy. *Lasers in Surgery and Medicine* **35**, 377-384.
- Einstein, A. (1905) Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik* **17**, 132-148.
- Einstein, A. (1917) Zur Quantentheorie der Strahlung. *Physikalische Zeitschrift* **18**, 121-128.
- Einstein, A. (1916) Strahlungs-Emission und Absorption nach der Quantentheorie. *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* **18**, 318-323.
- El Yazami, H., Azehoui, N., Ahariz, M., Rey, G. & Sauvetre, E. (2004) Periodontal evaluation of an Nd:YAP laser combined with scaling and root planing for nonsurgical periodontal treatment. A clinical evaluation. *Journal of Oral Laser Applications* **4**, 97-102.
- Fernando, S., Hill, C. M. & Walker, R. (1993) A randomised double blind comparative study of low level laser therapy following surgical extraction of lower third molar teeth. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* **31**, 170-172.
- Finkbeiner, R. L. (1995) The results of 1328 periodontal pockets treated with the argon laser: selective pocket thermolysis. *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery* **13**, 273-281.
- Gaspirc, B. & Skaleric, U. (2001) Morphology, chemical structure and diffusion processes of root surface after Er:YAG and Nd:YAG laser irradiation. *Journal of Clinical Periodontology* **28**, 508-516.
- Gimbel, C. B. (2000) Hard tissue laser procedures. *Dental Clinics of North America* **44**, 931-953.
- Goldman, L., Hornby, P., Meyer, R. & Goldman, B. (1964)

- Impact of the laser on dental caries. *Nature* **203**, 417.
- Gopin, B. W., Cobb, C. M., Rapley, J. W. & Killoy, W. J. (1997) Histologic evaluation of soft tissue attachment to CO₂ laser-treated root surfaces: an *in vivo* study. *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry* **17**, 316-325.
- Gordon, J. P., Zeigler, H. J. & Townes, C. H. (1955) The Massey-new type of amplifier, frequency standard and spectrometer. *Physiological Reviews* **99**, 1264-1274.
- Gutknecht, N., Raoufi, P., Franzen, R. & Lampert, F. (2002) Reduction of specific microorganisms in periodontal pockets with the aid of an Nd:YAG laser-An *in vivo* study. *Journal of Oral Laser Applications* **2**, 175-180.
- Henry, C. A., Dyer, B., Wagner, M., Judy, M. & Matthews, J. L. (1996) Phototoxicity of argon laser irradiation on biofilms of *Porphyromonas* and *Prevotella* species. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* **34**, 123-128.
- Ito, K., Nishikata, J., Murai, S. (1993) Effects of Nd:YAG laser radiation on removal of a root surface smear layer after root planing: a scanning electron microscopic study. *Journal of Periodontology* **64**, 547-552.
- Kert, J. & Rose, L. (1989) *Klinisk laserbehandling-low level laser therapy. Scandinavian Medical Laser Technology*. Østerbrogade 135, 2100 København Ø.
- Kotsovilis, S., Karoussis, I. K., Trianti, M. & Fourmoussis, I. (2008) Therapy of peri-implantitis: a systematic review. *Journal of Clinical Periodontology* [in press].
- Kreisler, M., Al Haj, H., Daubländer, M., Götz, H., Duschner, H., Willershausen, B. & d'Hoedt, B. (2002) Effect of diode laser irradiation on root surfaces *in vitro*. *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery* **20**, 63-69.
- Κωτσοβίλης, Σ., Αρκαδοπούλου, Α. & Νάκου, Μ. (2003) Το μικροσκόπιο σκοτεινού πεδίου ως μέσον ενεργοποίησης περιοδοντικών ασθενών για εφαρμογή στοματικής υγιεινής. *Οδοντοστοματολογική Πρόοδος* **57**, 340-349.
- Lee, S. C., Kim, Y. G., Ryu, D. M., Lee, B. S., Yoon, O. B., Kim, H. C. & Hwang, H. W. (1998) Nd:YAG and Er:YAG laser; effect on intraoral soft tissue. *Journal of Dental Research* **77**, 1317 [Abstract No. O-35].
- Lewandrowski, K. U., Lorente, C., Schomacker, K. T., Flotte, T. J., Wilkes, J. W. & Deutch, T. F. (1996) Use of the Er:YAG laser for improved plating in Maxillofacial Surgery: comparison of bone healing in laser and drill osteotomies. *Lasers in Surgery and Medicine* **19**, 40-45.
- Listgarten, M. & Helldén, L. (1978) Relative distribution of bacteria at clinically healthy and periodontally diseased sites in humans. *Journal of Clinical Periodontology* **5**, 115-132.
- Liu, C. M., Hou, L. T., Wong, M. Y. & Lan, W. H. (1999) Comparison of Nd:YAG laser versus scaling and root planing in periodontal therapy. *Journal of Periodontology* **70**, 1276-1282.
- Maiman, T. H. (1960) Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* **187**, 493-494.
- Martin, E. (2004) Lasers in dental implantology. *Dental Clinics of North America* **48**, 999-1015.
- Masse, J. F., Landry, R. G., Rochette, C., Dufour, L., Morency, R. & D'Aoust, P. (1993) Effectiveness of soft laser treatment in periodontal surgery. *International Dental Journal* **43**, 121-127.
- Mester, E., Mester, A. F. & Mester, A. (1985) The biomedical effects of laser application. *Lasers in Surgery and Medicine* **5**, 31-39.
- Midda, M. (1992) Lasers in Periodontics. *Periodontal Clinical Investigations* **14**, 14-20.
- Mitchell, R. H. (2002) *Perovskites modern and ancient*, p. 318. Thunder Bay, Ontario: Almaz Press.
- Miyazaki, A., Yamaguchi, T., Nishikata, J., Okuda, K., Suda, S., Orima, K., Kobayashi, T., Yamazaki, K., Yoshikawa, E. & Yoshie, H. (2003) Effects of Nd:YAG and CO₂ laser treatment and ultrasonic scaling on periodontal pockets of chronic periodontitis patients. *Journal of Periodontology* **74**, 175-180.
- Mordon, S., Begu, S., Buys, B., Tourne-Peteilh, C. & Devoisselle, J. M. (2002) Study of platelet behavior *in vivo* after endothelial stimulation with laser irradiation using fluorescence intravital videomicroscopy and PEGylated liposome staining. *Microvascular Research* **64**, 316-325.
- Moritz, A., Gutknecht, N., Doertbudak, O., Goharkhay, K., Schoop, U., Schauer, P. & Sperr, W. (1997) Bacterial reduction in periodontal pockets through irradiation with a diode laser: a pilot study. *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery* **15**, 33-37.
- Moritz, A., Schoop, U., Goharkhay, K., Schauer, P., Doertbudak, O., Wernisch, J. & Sperr, W. (1998) Treatment of periodontal pockets with a diode laser. *Lasers in Surgery and Medicine* **22**, 302-311.
- Myers, T. D. & Myers, W. D. (1985) The use of a laser for debridement of incipient caries. *Journal of Prosthetic Dentistry* **53**, 776-779.
- Neiburger, E. J. (1995) The effect of low-power lasers on intra-oral wound healing. *New York State Dental Journal* **61**, 40-43.
- Neill, M. E. & Mellonig, J. T. (1997) Clinical efficacy of the Nd:YAG laser for combination periodontitis therapy. *Practical Periodontics and Aesthetic Dentistry* **9 (Suppl. 6)**, 1-5.
- Noguchi, T., Sanaoka, A., Fukuda, M., Suzuki, S. & Aoki, T. (2005) Combined effects of Nd:YAG laser irradiation

- with local antibiotic application into periodontal pockets. *Journal of the International Academy of Periodontology* **7**, 8-15.
- Paghdiwala, A. F. (1988) Application of the Erbium:YAG laser on hard dental tissues: measurement of the temperature changes and depths of cut. *ICALEO Proceedings* **64**, 192-300.
- Parker, S. (2007) Lasers and soft tissue: periodontal therapy. *British Dental Journal* **202**, 309-315.
- Pick, R. M. (1993) Using lasers in clinical dental practice. *Journal of the American Dental Association* **124**, 37-47.
- Pick, R. M., McCullum, Y. & Kaminsky, E. J. (1990) Comparative wound healing of the scalpel, Nd:YAG laser and electrosurgery in oral mucosa. *Innovation et Technologie en Biologie et Medecine* **11**, 116-121.
- Pick, R. M., Pecaro, B. C. & Silberman, C. J. (1985) The laser gingivectomy. The use of the CO₂ laser for the removal of phenytoin hyperplasia. *Journal of Periodontology* **56**, 492-496.
- Pogrel, M. A., Muff, D. F. & Marshall, G. W. (1993) Structural changes in dental enamel induced by high energy continuous wave carbon dioxide laser. *Lasers in Surgery and Medicine* **13**, 89-96.
- Puricelli, E., Baraldi, C. E. & Martins, G. L. (2000) Oral soft tissue surgery using Er:YAG laser in contact and non-contact modes. 7th International Congress of Lasers in Dentistry, International Society for Lasers in Dentistry, Brussels, Belgium.
- Qadri, T., Miranda, L., Tunér, J. & Gustafsson, A. (2005) The short-term effects of low-level lasers as adjunct therapy in the treatment of periodontal inflammation. *Journal of Clinical Periodontology* **32**, 714-719.
- Radvar, M., MacFarlane, T. W., MacKenzie, D., Whitters, C. J., Payne, A. P. & Kinane, D. F. (1996) An evaluation of the Nd:YAG laser in periodontal pocket therapy. *British Dental Journal* **180**, 57-62.
- Raffetto, N. (2004) Lasers for initial periodontal therapy. *Dental Clinics of North America* **48**, 923-936.
- Romanos, G. E. (1994) Clinical applications of the Nd:YAG laser in oral soft tissue surgery and Periodontology. *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery* **12**, 103-108.
- Rossa, C. J., Silverio, K. G., Zanin, I. C., Brugnera, A. J. & Sampaio, J. E. (2002) Root instrumentation with an erbium:yttrium-aluminum-garnet laser: effect on the morphology of fibroblasts. *Quintessence International* **33**, 496-502.
- Rossmann, J. A., Gottlieb, S., Koudelka, B. M. & McQuade, M. J. (1987) Effects of CO₂ laser irradiation on gingiva. *Journal of Periodontology* **58**, 423-425.
- Rowson, J. E. (1995) The contact diode laser-a useful surgical instrument for excising oral lesions. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* **33**, 123 [Abstract without No.].
- Rydén, H., Persson, L., Preber, H. & Bergström, J. (1994) Effect of low level energy laser irradiation on gingival inflammation. *Swedish Dental Journal* **18**, 35-41.
- Sasaki, K. M., Aoki, A., Ichinose, S. & Ishikawa, I. (2002a) Ultrastructural analysis of bone tissue irradiated by Er:YAG laser. *Lasers in Surgery and Medicine* **31**, 322-332.
- Sasaki, K. M., Aoki, A., Ichinose, S., Yoshino, T., Yamada, S. & Ishikawa, I. (2002b) Scanning electron microscopy and Fourier transformed infrared spectroscopy analysis of bone removal using Er:YAG and CO₂ lasers. *Journal of Periodontology* **73**, 643-652.
- Sasaki, K. M., Aoki, A., Masuno, H., Ichinose, S., Yamada, S. & Ishikawa, I. (2002c) Compositional analysis of root cementum and dentin after Er:YAG laser irradiation compared with CO₂ lased and intact roots using Fourier transformed infrared spectroscopy. *Journal of Periodontal Research* **37**, 50-59.
- Schawlow, A. L. & Townes, C. H. (1958) Infrared and optical masers. *Physical Review* **112**, 1940-1949.
- Schoop, U., Moritz, A., Kluger, W., Frei, U., Maleschitz, P., Goharkhay, K., Schöfer, C., Wernisch, J. & Sperr, W. (2002) Changes in root surface morphology and fibroblast adherence after Er:YAG laser irradiation. *Journal of Oral Laser Applications* **2**, 83-93.
- Schwarz, F., Aoki, A., Sculean, A., Georg, T., Scherbaum, W. & Becker, J. (2003a) *In vivo* effects of an Er:YAG laser, and ultrasonic system and scaling and root planing on the biocompatibility of periodontally diseased root surfaces in cultures of human PDL fibroblasts. *Lasers in Surgery and Medicine* **33**, 140-147.
- Schwarz, F., Sculean, A., Berakdar, M., Georg, T., Reich, E. & Becker, J. (2003b) Clinical evaluation of an Er:YAG laser combined with scaling and root planing for non-surgical periodontal treatment. A controlled, prospective clinical study. *Journal of Clinical Periodontology* **30**, 26-34.
- Schwarz, F., Sculean, A., Berakdar, M., Georg, T., Reich, E. & Becker, J. (2003c) Periodontal treatment with an Er:YAG laser or scaling and root planing. A 2-year follow-up split-mouth study. *Journal of Periodontology* **74**, 590-596.
- Schwarz, F., Sculean, A., Berakdar, M., Szathmari, L., Georg, T. & Becker, J. (2003d) *In vivo* and *in vitro* effects of an Er:YAG laser, a GaAlAs diode laser, and scaling and root planing on periodontally diseased root surfaces: a comparative histologic study. *Lasers in Surgery and Medicine* **32**, 359-366.

- Schwarz, F., Pütz, N., Georg, T. & Reich E. (2001a) Effect of an Er:YAG laser on periodontally involved root surfaces: an *in vivo* and *in vitro* SEM comparison. *Lasers in Surgery and Medicine* **29**, 328-335.
- Schwarz, F., Sculean, A., Georg, T. & Reich E. (2001b) Periodontal treatment with an Er:YAG laser compared to scaling and root planing. A controlled clinical study. *Journal of Periodontology* **72**, 361-367.
- Sculean, A., Schwarz, F. & Becker J. (2005) Anti-infective therapy with an Er:YAG laser: influence on peri-implant healing. *Expert Review of Medical Devices* **2**, 267-276.
- Sculean, A., Schwarz, F., Berakdar, M., Romanos, G. E., Arweiler, N. B. & Becker, J. (2004) Periodontal treatment with an Er:YAG laser compared to ultrasonic instrumentation: a pilot study. *Journal of Periodontology* **75**, 966-973.
- Sjöström, L. & Friskopp, J. (2002) Laser treatment as an adjunct to debridement of periodontal pockets. *Swedish Dental Journal* **26**, 51-57.
- Slots, J., Emrich, L. J., Genco, R. J. & Rosling, B. G. (1985) Relationship between some subgingival bacteria and periodontal pocket depth and gain or loss of periodontal attachment after treatment of adult periodontitis. *Journal of Clinical Periodontology* **12**, 540-552.
- Stashenko, P., Dewhirst, F. E., Peros, W. J., Kent, R. J. & Ago J. M. (1987) Synergistic interactions between interleukin 1, tumor necrosis factor, and lymphotoxin in bone resorption. *Journal of Immunology* **138**, 1464-1468.
- Stern, R. H. & Sognnaes, R. F. (1964) Laser beam effect on dental hard tissues. *Journal of Dental Research* **43**, 873 [Abstract No. 307].
- Sulewski, J. G. (2000) Historical survey of Laser Dentistry. *Dental Clinics of North America* **44**, 717-752.
- Tejuca, L. G. (1993) *Properties and applications of perovskite-type oxides*, p. 382. New York: Dekker.
- Thomas, D., Rapley, J., Cobb, C., Spencer, P. & Killoy, W. (1994) Effects of the Nd:YAG laser and combined treatments on *in vitro* fibroblast attachment to root surfaces. *Journal of Clinical Periodontology* **21**, 38-44.
- van As, G. (2004) Erbium lasers in dentistry. *Dental Clinics of North America* **48**, 1017-1059.
- Venugopalan, V. (1995) Pulsed laser ablation of tissue: surface vaporization or thermal explosion? *Proceedings SPIE* **2391**: 184-189.
- Walsh, J. T. Jr. & Cummings, J. P. (1994) Effect of the dynamic optical properties of water on mid-infrared laser ablation. *Lasers in Surgery and Medicine* **15**, 295-305.
- Walsh, J. T. Jr., Flotte, T. J. & Deutsch, T. F. (1989) Er:YAG laser ablation of tissue: effect of pulse duration and tissue type on thermal damage. *Lasers in Surgery and Medicine* **9**, 314-326.
- Watanabe, H., Yoshino, T., Aoki, A. & Ishikawa, I. (1997) Wound healing after irradiation of bone tissues by Er:YAG laser. In: Wigdor, H. A., Featherstone, J. D. B., Rechmann, P., eds. *Lasers in Dentistry III*, pp. 39-42. San Jose (CA): Spie.
- Wilder-Smith, P., Arrastia, A. M., Schell, M. J., Liaw, L. H., Grill, G. & Berns, M. W. (1995) Effect of Nd:YAG laser irradiation and root planing on the root surface: structural and thermal effects. *Journal of Periodontology* **66**, 1032-1039.
- Yamaguchi, H., Kobayashi, K., Osada, R., Sakuraba, E., Nomura, T., Arai, T. & Nakamura, J. (1997) Effects of irradiation of an erbium:YAG laser on root surfaces. *Journal of Periodontology* **68**, 1151-1155.
- Yilmaz, S., Kuru, B., Kuru, L., Noyan, U., Argun, D. & Kadir, T. (2002) Effect of gallium arsenide diode laser on human periodontal disease: a microbiological and clinical study. *Lasers in Surgery and Medicine* **30**, 60-66.

Διεύθυνση επικοινωνίας:

Ιωάννης Φουρμούζης
 Εργαστήριο Περιοδοντολογίας
 Οδοντιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Αθηνών
 Θηβών 2
 Γουδί, Αθήνα