

ΕΘΝΙΚΟΝ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΝ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ



**Εργαστηριακή αξιολόγηση της προσκόλλησης
εργαλείων διαφορετικών κραμάτων στη σύνθετη ρητίνη**

ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΑΘΗΝΑ 2023

Επιβλέπων Καθηγητής για την εκπόνηση της Μεταπτυχιακής
Διπλωματικής Εργασίας Μασούρας Κωνσταντίνος

Επίκουρος Καθηγητής Οδοντικής Χειρουργικής

Τριμελής Επιτροπή για την Αξιολόγηση της Μεταπτυχιακής
Διπλωματικής Εργασίας:

1. Αναγνώστου Μαρία
2. Αντωνιάδου Μαρία
3. Μασούρας Κωνσταντίνος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα της Οδοντικής Χειρουργικής, του τμήματος Οδοντιατρικής, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Αυτή θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη του καθηγητή μου, Κου Κωνσταντίνου Μασούρα, Επ. Καθηγητή ΕΚΠΑ. Ένα ευχαριστώ είναι λίγο για την απλόχερη βοήθεια, τη συμπαράσταση, την κατανόηση, την επιστημονική καθοδήγηση που μου προσέφερε και για την εμπιστοσύνη, την επιμονή και την υπομονή που έδειξε από την αρχή μέχρι το τέλος.

Επίσης, ευχαριστώ την Καθηγήτρια, Κα Κακάμπουρα Αφροδίτη και τον Αν. Καθηγητή Κο Παπάζογλου Ευστράτιο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν κατά την αποδοχή μου στο Μεταπτυχιακό πρόγραμμα της Οδοντικής Χειρουργικής και για την πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Επιπλέον, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στα υπόλοιπα μέλη ΔΕΠ του εργαστηρίου της Οδοντικής Χειρουργικής καθώς και στους συνεργάτες για τη συνεχή υποστήριξη και βοήθειά τους, καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Ένα ξεχωριστό ευχαριστώ στην Καθηγήτρια Κωνσταντίνα Τζιά από το Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ για την ευγενική παραχώρηση του αναλυτή υφής. Ιδιαίτερα την Κα Γιάννου Βιργινία, από το Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό του Εργαστηρίου για την πολύτιμη βοήθειά της στην εκπόνηση του πειράματος.

Ευχαριστώ πολύ τους φίλους και συμφοιτητές μου για τις αξέχαστες στιγμές που περάσαμε εντός και εκτός μεταπτυχιακού προγράμματος, για την άριστη συνεργασία μας και τη συνεχή συμπαράσταση όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου, η οποία υπήρξε πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για μένα και στην οποία οφείλω όλη τη διαδρομή των σπουδών μου μέχρι σήμερα.

Στον Αντώνη και τον Χρήστο

Περιεχόμενα

A. Γενικό μέρος.....	7
1. Εισαγωγή.....	7
2. Σύνθετη ρητίνη	8
2.1 Μονομερή.....	8
2.2 Συμμονομερή.....	10
2.3 Ενισχυτικές ουσίες.....	11
2.4 Συζευκτικοί παράγοντες.....	13
2.5 Σύστημα κατάλυσης.....	14
2.6 Άλλα πρόσθετα.....	14
3. Ρεολογικές ιδιότητες συνθέτων ρητινών	15
3.1 Ιξώδες	16
3.2 Ιξοδοελαστικότητα	18
4. Εργαλεία συνθέτων ρητινών.....	19
4.1 Ανοξείδωτος χάλυβας	20
4.2 Κράματα επιμεταλλωμένα με χρυσό	21
4.3 Ανοδιωμένο αλουμίνιο	21
4.4 Νιτρίδιο του τιτανίου	22
5. Προσκόλληση.....	22
5.1 Δοκιμασίες αξιολόγησης της προσκόλλησης.....	26
5.2 Παράγοντες επηρεασμού της προσκόλλησης.....	32
B. Ειδικό μέρος	37
1. Σκοπός	37
2. Μηδενική υπόθεση	37
3. Υλικά και μέθοδος.....	37
3.1 Υλικά	37
3.2 Μέθοδος.....	39
3.3 Μέτρηση της Ενέργειας Παραμόρφωσης.....	41
3.4. Στατιστική ανάλυση.....	43
4. Αποτελέσματα	45
5. Συζήτηση.....	57
6. Συμπεράσματα.....	64
Περίληψη.....	65
Summary	67

Πίνακας συντιμήσεων	69
Βιβλιογραφία.....	70

Α. Γενικό μέρος

1. Εισαγωγή

Οι σύνθετες ρητίνες ως εμφρακτικό υλικό οπισθίων δοντιών, έχει εδραιωθεί ως υλικό εκλογής στην καθημερινή κλινική πράξη, τόσο εξαιτίας της αισθητικής τους απόδοσης, όσο και εξαιτίας των εξελίξεων στη συγκόλληση και στις μηχανικές τους ιδιότητες. Στόχος είναι η εμφραξη να εμπίπτει στη λογική της βιολογικής, μηχανικά ανθεκτικής και αισθητικά αποδεκτής αποκατάστασης.

Με την πάροδο των ετών έχουν χρησιμοποιηθεί μια σειρά από ρητίνες, εργαλεία και τεχνικές τοποθέτησης για τη δημιουργία αξιόπιστων εμφράξεων. Ο σωστός τρόπος πλήρωσης της κοιλότητας έχει ιδιαίτερη σημασία τόσο για την αποφυγή δημιουργίας μικροκενών στην εμφραξη όσο και για τον περιορισμό των τάσεων συστολής πολυμερισμού. Το ιξώδες του υλικού θα πρέπει να επιτρέπει τη διατήρηση του σχήματος μέχρι τον πολυμερισμό του ώστε να αποδοθεί η ανατομικότητα, με στόχο την επανεγκαθίδρυση της λειτουργίας, την επαναφορά της ισορροπίας της σύγκλεισης και την αποκατάσταση της αισθητικής.

Στην κλινική πράξη η πλήρωση της κοιλότητας με σύνθετη ρητίνη και η διαμόρφωση της, αποτελούν ένα μεγάλο κομμάτι της συνολικής διαδικασίας. Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κλινικός είναι η προσκόλληση του υλικού κατά την απομάκρυνση του εργαλείου έχοντας ως αποτέλεσμα τη δυσκολία στη διαμόρφωση, την πιθανότητα δημιουργίας μικροκενών μεταξύ δοντιού και υλικού ή μεταξύ στρωμάτων υλικού και τέλος την παραμονή υλικού πάνω στο εργαλείο.

Προς αποφυγή αυτού του προβλήματος έχουν κατασκευαστεί διάφοροι τύποι εργαλείων τοποθέτησης σύνθετης ρητίνης, με σκοπό την πρόληψη προσκόλλησης του υλικού στο εργαλείο, χωρίς να χρειάζεται ο καθαρισμός των εργαλείων μετά από κάθε εφαρμογή.

2. Σύνθετη ρητίνη

Όλες οι σύνθετες ρητίνες, σε οποιαδήποτε μορφή σκευάσματος και αν κυκλοφορούν, έχουν τα ίδια βασικά στοιχεία σύνθεσης. Τα μονομερή που συνιστούν την οργανική φάση, τις ενισχυτικές ουσίες που απαρτίζουν την ανόργανη φάση, το συζευκτικό παράγοντα, που συνδέει τα δύο προηγούμενα, το σύστημα κατάλυσης πολυμερισμού και τέλος σταθεροποιητές χρώματος, αναστολείς πολυμερισμού και χρωστικές που έχουν συμπληρωματικούς ρόλους.

2.1 Μονομερή

Τα μονομερή που περιέχονται στην σύνθετη ρητίνη είναι δύο τύπων, το βασικό μονομερές και το συμμοномерές. Ως βασικά μονομερή χρησιμοποιούνται κυρίως μεθακρυλικά μονομερή που φέρουν στα δύο άκρα τους την ομάδα $=CH_2$. Το μονομερές που περιέχεται στο μεγαλύτερο ποσοστό σκευασμάτων είναι το Bis-GMA. Τα δεύτερα σε συχνότητα χρήσης είναι τα διμεθακρυλικά της ουρεθάνης, με συνηθέστερο το UDMA. Υπάρχουν σκευάσματα που περιέχουν μόνο μονομερές τύπου Bis-GMA, άλλα μόνο ουρεθάνης και άλλα συνδυασμό των δύο σε διάφορες αναλογίες.

Ο ρόλος των μονομερών συνίσταται στο σχηματισμό του πολυμερούς πλέγματος ως αποτέλεσμα της αντίδρασης πολυμερισμού, μέσα στην οποία εγκλείονται οι ενισχυτικές ουσίες.

Bis-GMA

Το μόριο του Bis-GMA φέρει δύο κεντρικούς αρωματικούς δακτυλίους και δύο μεθακρυλικά άκρα που το κάνουν να έχει μεγαλύτερη ακαμψία συγκριτικά με τη διμεθακρυλική ουρεθάνη.

Το Bis-GMA, εξαιτίας των διαμοριακών δεσμών –H, παρουσιάζει υψηλό ιξώδες, με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσρηστο, ειδικά μετά την ενσωμάτωση ενισχυτικών ουσιών. Για τη μείωση του ιξώδους του Bis-GMA χρησιμοποιούνται αιθοξυλιωμένα παράγωγά του χωρίς ενεργά -H, όπως τα Bis-PDMA, το Bis-EMA και παράγωγα αλειφατικών και αρωματικών διμεθακρυλικών ουρεθανών, όπως τα UEDMA και TMX-UEDMA (Moszner N., 2007). Επίσης, μπορεί να γίνει ανάμιξή του με μονομερή χαμηλότερου μοριακού βάρους, τα οποία δρουν ως διαλύτες. Η περιεκτικότητα των μονομερών σε Bis-GMA κυμαίνεται μεταξύ 40-70% κ.β. (Roberson TM., 2002).

Ο πολυμερισμός του αναστέλλεται επιφανειακά από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Τα –OH του Bis-GMA θεωρούνται υπεύθυνα για την κάπως αυξημένη απορρόφηση νερού, συγκριτικά με άλλα μονομερή, όπως το Bis-EMA και το UEDMA (Ηλιάδης Γ., 1994).

UDMA

Το UDMA, αν και παρουσιάζει παραπλήσιο μοριακό βάρος με το Bis-GMA, έχει χαμηλότερο ιξώδες και είναι περισσότερο εύκαμπτο μόριο εξαιτίας της απουσίας αρωματικών δακτυλίων, έχει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, υψηλότερο βαθμό μετατροπής διπλών δεσμών (Polydorou O, 2009). Τα μονομερή αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευκολία χειρισμού, και ελαττωμένη απορρόφηση νερού λόγω της απουσίας των -OH ομάδων. Παρά το χαμηλό του ιξώδες σε σύγκριση με το Bis-GMA, το UDMA δείχνει χαμηλότερη κινητικότητα, χαμηλή αντιδραστικότητα και χαμηλό βαθμό μετατροπής όταν αναμιγνύεται με Bis-EMA (Alshali, 2013).

2.2 Συμμονομερή

Για τη ρύθμιση του υψηλού ιξώδους μιας ρητίνης μεγάλου μοριακού βάρους απαιτείται ανάμιξη με ρητίνες μικρότερου μοριακού βάρους. Συνήθως τα μονομερή αυτά είναι μεθακρυλικά και αναμιγνύονται σε ποσοστό μέχρι και 30% της οργανικής φάσης. Τα πιο συνηθισμένα συμμονομερή είναι το MMA ή διμεθακρυλικά μονομερή, όπως το TEGDMA και το EGDMA (Kumar SR, 2016). Αν και η χρήση των συμμονομερών κάνει πιο εύπλαστη τη μάζα της σύνθετης ρητίνης, έχει αρνητική επίδραση όσον αφορά στις φυσικές και μηχανικές της ιδιότητες. Τα μειονεκτήματα της χρήσης συμμονομερών μικρού μοριακού βάρους έγκεινται στη συγκριτικά μεγαλύτερη τοξικότητα, στην αυξημένη συστολή πολυμερισμού και στην αυξημένη απορρόφηση νερού σε σχέση με τα βασικά μονομερή (Pratap B, 2019).

2.3 Ενισχυτικές ουσίες

Ως ενισχυτικές ουσίες στις σύνθετες ρητίνες χρησιμοποιούνται κόκκοι γυαλιών, οι οποίες κατανέμονται τυχαία μέσα στην οργανική μήτρα τους. Οι ενισχυτικές ουσίες είναι το βασικότερο συστατικό των συνθέτων ρητινών, αφού η χημική σύνθεση, το μέγεθος και το σχήμα τους επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό μια σειρά ιδιοτήτων της σύνθετης ρητίνης, όπως την αντοχή, το ιξώδες, την ακτινοσκοπιότητα, το συντελεστή θερμικής διαστολής, τη συστολή πολυμερισμού, το μέτρο ελαστικότητας και την αισθητική της (Roberson TM., 2002). Ιδανικά, οι ενισχυτικές ουσίες θα πρέπει να είναι ανθεκτικές στην βιοαποδόμηση στο στοματικό περιβάλλον, μη τοξικές και να παρουσιάζουν δείκτη διάθλασης παραπλήσιο με αυτόν της οργανικής μήτρας (Ferracane JL, 2017).

Κατά τη σχεδίαση μιας σύνθετης ρητίνης υψηλής αντοχής απαιτείται η επίτευξη της ελάχιστης δυνατής απόστασης μεταξύ των κόκκων των ενισχυτικών ουσιών, έτσι ώστε οι ασκούμενες εξωτερικές τάσεις να μην αντιρροπούνται στη μάζα της ρητίνης (περιοχή χαμηλής αντοχής), αλλά να μεταφέρονται στις ενισχυτικές ουσίες (περιοχή υψηλής αντοχής). Κατ' αυτόν τον τρόπο, η κατ' όγκο περιεκτικότητα μιας σύνθετης ρητίνης σε ενισχυτικές ουσίες αποτελεί πιο αξιόπιστο μέτρο της ενίσχυσής της, αφού η κατά βάρος περιεκτικότητα επηρεάζεται από το ειδικό βάρος των κόκκων. Αναλόγως του τύπου και της ενδεικνυόμενης εφαρμογής της σύνθετης ρητίνης, το ποσοστό των ενισχυτικών ουσιών κυμαίνεται μεταξύ 30-80% κ.ο. ή 50-90% κ.β. (Anusavice, 2003).

Οι ενισχυτικές ουσίες ποικίλουν ως προς τον τύπο, την περιεκτικότητα, το μέγεθος και το σχήμα καθορίζοντας έτσι τους διάφορους τύπους συνθέτων ρητινών που διατίθενται για κλινική χρήση.

Κατά καιρούς έχουν ισχύσει διάφορες ταξινομήσεις των συνθέτων ρητινών βάσει των ενισχυτικών ουσιών τους. Με τα σημερινά δεδομένα, οι σύνθετες ρητίνες ταξινομούνται σε:

- Μικροϋβριδικές: με μέγεθος κόκκου από 250nm έως 1μm, με κάποιο μικρό ποσοστό που μπορεί να ξεπερνά το 1μm, με την πλειοψηφία των κόκκων πάντως να έχει μέγεθος 700nm περίπου και κατ'όγκο περιεκτικότητα έως 70%.
- Νανοϋβριδικές: με παρόμοιο μέγεθος κόκκου με τις μικροϋβριδικές, με τη διαφορά πως η κύρια κατανομή είναι στα 250-400nm. Δύσκολα υπάρχει ακριβής διαχωριστική γραμμή μεταξύ νανοϋβριδικών και μικροϋβριδικών συνθέτων ρητινών (Ferracane JL., 2011).
- Νανόκοκκες: παρουσιάζουν ομοιόμορφη κατανομή με μέγεθος κόκκου από 5-100nm.

Η περιεκτικότητα σε ενισχυτικές ουσίες επηρεάζει και το ιξώδες των υλικών πριν τον πολυμερισμό, που σχετίζεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά χειρισμού τους (Ellakwa A, 2007). Με βάση το ιξώδες οι σύνθετες ρητίνες διακρίνονται σε: 1) χαμηλού ιξώδους, 2) μέσου ιξώδους και 3) υψηλού ιξώδους.

Οι σύνθετες ρητίνες χαμηλού ιξώδους έχουν συνήθως μικρότερη περιεκτικότητα σε ενισχυτικές ουσίες και κατ' επέκταση κατώτερες φυσικομηχανικές ιδιότητες από τις ρητίνες μέσου ιξώδους. Είναι υβριδικού τύπου και συνήθως η περιεκτικότητα σε ενισχυτικές ουσίες δεν υπερβαίνει το 40-50% κ.ο., αν και πρόσφατα κυκλοφόρησαν ρητίνες χαμηλού ιξώδους με αρκετά μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ενισχυτικές ουσίες.

Οι σύνθετες ρητίνες που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι μέσου ιξώδους, το οποίο προκύπτει από την ενσωμάτωση περισσότερων ενισχυτικών ουσιών. Οι μικροϋβριδικές, οι νανοϋβριδικές και οι νανόκοκκες, ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Χρησιμοποιούνται σε αποκαταστάσεις προσθίων και οπισθίων δοντιών.

Οι σύνθετες ρητίνες υψηλού ιξώδους είναι επίσης υβριδικά υλικά, με περιεκτικότητα ενισχυτικών ουσιών που μπορεί να φτάσει και το 70% κ.ο. Τα υλικά αυτά αναπτύχθηκαν με σκοπό τη δυνατότητα συμπύκνωσής τους, όπως το αμάλαμα, την καλύτερη πρόσφυση του υλικού στα τοιχώματα της κοιλότητας και την απόδοση σωστού σημείου επαφής. Επίσης, αναπτύχθηκαν με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων. Παρ' όλα αυτά, η περιορισμένη δυνατότητα συμπύκνωσης, ο εγκλωβισμός φυσαλίδων, η ατελής πρόσφυση και η υποβαθμισμένη αισθητική αποτελούν τους κυριότερους λόγους της πολύ περιορισμένης χρήσης τους.

2.4 Συζευκτικοί παράγοντες

Η αλληλεπίδραση ενισχυτικών ουσιών και ρητινώδους μήτρας παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των σύνθετων ρητινών (Yang D-L, 2020). Η ανάπτυξη τάσεων που μεταφέρονται από την οργανική μήτρα προς την ανόργανη φάση εξαρτάται από την ποιότητα και την αντοχή της μεσόφασης ρητινώδους μήτρας – ενισχυτικών ουσιών.

Η σύνδεση οργανικής μήτρας και ανόργανων ενισχυτικών ουσιών πραγματοποιείται συνήθως με τη χρήση σιλανόλης. Οι ενώσεις αυτές φέρουν στο ένα άκρο μεθακρυλικές ομάδες και στο άλλο ομάδες σιλανόλης. Συνήθως χρησιμοποιείται το γ -MPTS, το οποίο μετά από

υδρόλυση ενεργοποιείται και μετατρέπεται στην αντίστοιχη σιλανόλη. Άλλοι συζευκτικοί παράγοντες που χρησιμοποιούνται είναι το UDMS και το OTMS (Aminoroaya, 2021).

2.5 Σύστημα κατάλυσης

Ο μηχανισμός πολυμερισμού των μεθακρυλικών μονομερών των συνθέτων ρητινών είναι αυτός που ενεργοποιείται από ελεύθερες ρίζες. Αυτές παράγονται μέσω χημικής ενεργοποίησης ή από εξωτερική παροχή ενέργειας (θερμότητα, φως). Στα περισσότερα σύγχρονα σκευάσματα συνθέτων ρητινών ο πολυμερισμός ενεργοποιείται με έκθεση στην ορατή ακτινοβολία.

Κατά τον φωτοπολυμερισμό, η εκπομπή φωτός διεγείρει έναν φωτοκαταλύτη, ο οποίος ακολούθως δημιουργεί ενεργό σύμπλοκο με μια αναγωγική αμίνη. Σε δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται απόσχιση του ενεργού συμπλόκου και δημιουργούνται οι απαιτούμενες για την έναρξη του πολυμερισμού ελεύθερες ρίζες (Ferracane JL., 2011). Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος φωτοκαταλύτης είναι η καμφοροκινόνη CQ (Temel G., 2011).

2.6 Άλλα πρόσθετα

Ο αναστολέας πολυμερισμού προστίθεται σε μικρές συγκεντρώσεις (0,01% κ.β.) στη σύνθετη ρητίνη για να αναστείλει την τάση για αυτόματο πολυμερισμό που εμφανίζουν τα μονομερή κατά την αποθήκευσή τους, από την τυχαία παραγωγή ελευθέρων ριζών. Χαρακτηριστικό των αναστολέων πολυμερισμού είναι ότι αντιδρούν με τις ελεύθερες ρίζες ταχύτερα από ότι οι τελευταίες με το μονομερές. Αυτό παρεμποδίζει τη φάση ανάπτυξης της πολυμερούς αλύσου,

τερματίζοντας την αντίδραση πριν οι ελεύθερες ρίζες γίνουν ικανές να οδηγήσουν σε έναρξη του πολυμερισμού (Anusavice K., 2012).

Ο σταθεροποιητής χρώματος προστίθεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (0,05% κ.β.) για να απορροφά εκλεκτικά την UV-ακτινοβολία, διότι η οργανική μήτρα των σύνθετων ρητινών έχει την τάση να αλλάζει χρώμα με την πάροδο του χρόνου όταν εκτίθεται σε αυτή (λ.χ. περιβάλλον, τεχνητός φωτισμός). Ως σταθεροποιητής χρώματος χρησιμοποιείται συνήθως το σαλικυλικό φαινύλιο ή η βενζοφαινόνη (Ashok NG, 2017).

Οι χρωσικές, οι οποίες πρόκειται για κόκκους έγχρωμων μεταλλικών οξειδίων, προστίθενται σε μικρές συγκεντρώσεις στο ανόργανο τμήμα των συνθέτων ρητινών. Συνήθως γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται οξείδια του δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου, διοξείδιο του τιτανίου, οξείδιο του αλουμινίου, οξείδιο του κασσιτέρου κ.α.. Οι ενώσεις αυτές προστίθενται σε μικρές συγκεντρώσεις (0.001-0.007% κ.β.), καθώς είναι ιδιαίτερα αδιαφανείς και με έντονο χρώμα (Anusavice K., 2012).

3. Ρεολογικές ιδιότητες συνθέτων ρητινών

Οι σύνθετες ρητίνες μοιάζουν με στερεά αλλά στην ουσία είναι υγρά που ρέουν πλαστικά (μη αναστρέψιμα) κάτω από παρατεταμένη τάση ή παραμορφώνονται ελαστικά (αναστρέψιμα) κάτω από μικρές τάσεις (Anusavice K., 2012). Πριν πολυμεριστούν χρήζουν τοποθέτησης και διαμόρφωσης στην οδοντική κοιλότητα για επαρκή προσαρμογή στα τοιχώματά της και απόδοση ικανοποιητικής ανατομίας. Σε αυτή την κατάσταση είναι υγρά και η επιστήμη που μελετά τη συμπεριφορά της

ροής των υλικών ονομάζεται Ρεολογία. Ιδανικά, η σύνθετη ρητίνη θα πρέπει να ρέει σε επαφή με το δόντι, να μπαίνει σε όλες τις μικροπορότητες και να μένει εκεί όταν φύγει η δύναμη, δηλαδή με την απομάκρυνση του εργαλείου τοποθέτησης ή διαμόρφωσης. Επιπλέον, δε θα πρέπει να κολλάει στο εργαλείο, συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της προσαρμογής στην κοιλότητα και της προσκόλλησης στο εργαλείο (Al-Sharaa KA, 2003)

3.1 Ιξώδες

Τα χαρακτηριστικά της ροής των διάφορων υγρών διαφέρουν από το ένα υλικό στο άλλο λόγω της διαφορετικής αντίστασης που παρουσιάζουν στην ίδια τάση. Η αντίσταση στη ροή ονομάζεται ιξώδες. Το ιξώδες των συνθέτων ρητινών είναι σημαντικός παράγοντας καθώς καθορίζει την ευκολία στη χρήση της ρητίνης (Seemann R, 2014). Το ιξώδες είναι γνωστό ότι επηρεάζει το βαθμό πολυμερισμού και την αντίδραση των ελεύθερων ριζών λόγω της μειωμένης κινητικότητας της αλυσίδας και μικρού βαθμού τερματισμού της αντίδρασης σε υψηλά ιξώδη (O'dian G., 2004.).

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των συνθέτων ρητινών είναι η σύνθεση και η αναλογία της οργανικής μήτρας, η περιεκτικότητα σε ενισχυτικές ουσίες το σχήμα και το μέγεθος των κόκκων, η κατανομή τους, η σιλιανοποίηση της επιφάνειας, η αλληλοσύνδεση των σωματιδίων και οι επιφανειακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωματιδίων και μήτρας (Al-Ahdal K, 2014).

Οι σύνθετες ρητίνες περιέχουν κυρίως Bis-GMA σε μίγμα με TEGDMA. Είναι γνωστό ότι το ιξώδες εξαρτάται από τη σύνθεση και την αναλογία των μονομερών (Taylor, 1998) (Silikas N, 1999). Λόγω

του υψηλού ιξώδους του Bis-GMA, είναι απαραίτητη και η χρήση συμμονομερών για την ανάμιξη των ενισχυτικών ουσιών (Dickens S, 2003). Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο συμμονομερές είναι το TEGDMA, που λόγω του μικρού μοριακού του βάρους (M.B 286), και του μικρού ιξώδους του, μειώνει το ιξώδες του μίγματος, συμβάλλοντας και με αυτόν τον τρόπο στην αύξηση του βαθμού μετατροπής των διπλών δεσμών (Atai M, 2006). Η αύξηση όμως της μετατροπής που προκύπτει από το TEGDMA, προκαλεί ανεπιθύμητη αύξηση συστολής πολυμερισμού και για αυτό το λόγο συμμονομερή με χαμηλό ιξώδες και υψηλό μοριακό βάρος όπως το BisEMA (M.B 540) χρησιμοποιούνται σε διάφορα σκευάσματα, αντικαθιστώντας μερικώς ή ολικώς το TEGDMA (Floyd CJ, 2006).

Όταν το ποσοστό των ενισχυτικών κόκκων είναι χαμηλό, δεν υπάρχει έντονη αλληλεπίδραση μεταξύ τους με αποτέλεσμα να μειώνεται και η επίδραση του μεγέθους. Αύξηση όμως στο ποσοστό των ενισχυτικών κόκκων εντείνει την επίδραση του μεγέθους στο ιξώδες (Lee JH, 2006). Για το ίδιο ποσοστό ενισχυτικών κόκκων, περισσότεροι κόκκοι με πιο μικρό μέγεθος σημαίνει μεγαλύτερη διαθέσιμη επιφάνεια δηλαδή περισσότερες αλληλεπιδράσεις μήτρας και κόκκων με αποτέλεσμα το αυξημένο ιξώδες (Lee JH, 2006). Η επιφανειακή επεξεργασία των κόκκων με σιλάνιο λιπαίνει τις ανωμαλίες στην επιφάνεια και μειώνεται το ιξώδες (Lee JH, 2006).

Ρεολογικές μελέτες για τις εμπορικές σύνθετες ρητίνες είναι σπάνιες στη βιβλιογραφία και τα αποτελέσματα τους πολλές φορές αντικρουόμενα, πιθανά λόγω έλλειψης αναλυτικής πληροφόρησης για τη σύνθεση των σκευασμάτων (Al-Ahdal K, 2014) (Lee I-B., 2003).

Σε μελέτες με καλά σχεδιασμένες πειραματικές ρητίνες βρέθηκε αύξηση στο ιξώδες με αύξηση του ποσοστού των ενισχυτικών κόκκων με αυτή να είναι μεγαλύτερη για μικρότερου μεγέθους κόκκους (Genovese DB., 2012) (Lee JH, 2006) (Elbishari H., 2011) (Habib E, 2018).

Λόγω του υψηλού ιξώδους που παρουσιάζουν τα σκευάσματα των συνθέτων ρητινών, η τοποθέτηση και η εφαρμογή τους στα τοιχώματα της κοιλότητας μπορεί να γίνει δυσχερής. Μια τεχνική που προτείνεται για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος είναι η θέρμανση των ρητινών πριν την τοποθέτηση στην κοιλότητα σε θερμοκρασία 55 – 60°C, για τη μείωση του ιξώδους τους. Αποδείχθηκε επίσης πως η αύξηση της θερμοκρασίας, επηρεάζοντας την κινητική της αντίδρασης πολυμερισμού μέσω της μείωσης του ιξώδους, οδηγεί σε συνολικά μεγαλύτερο ποσοστό μετατροπής C=C (Daronch M., 2006) (Daronch M R. D., 2005) (Muñoz CA, 2008) (Prasanna N., 2007) (Lohbauer U, 2009). Πρέπει να σημειωθεί όμως, πως η υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από 90°C, οδηγεί σε μείωση του ποσοστού μετατροπής λόγω εξάτμισης και υποβάθμισης του φωτοεκκινητή (Daronch M. R. F., 2006).

3.2 Ιξωδοελαστικότητα

Ορισμένα υλικά συμπεριφέρονται ως ελαστικά στερεά και κολλώδη υγρά. Σε αυτά τα υλικά όταν η ασκούμενη δύναμη αφαιρεθεί ξαφνικά, ένα μέρος της παραμόρφωσης επανέρχεται αμέσως, ένα άλλο με την πάροδο του χρόνου και κάποια μόνιμη παραμόρφωση παραμένει. Αυτή η χρονοεξαρτώμενη απάντηση ονομάζεται ιξωδοελαστικότητα. Οι σύνθετες ρητίνες εμφανίζουν ιξωδοελαστική συμπεριφορά και κατατάσσονται μεταξύ ελαστικών υλικών, όπως τα μέταλλα και ρευστών

όπως το λάδι (Watts, 1994). Οι απόλυτες τιμές της ελαστικότητας και του ιξώδους τους αλλά και η μεταξύ τους αναλογία είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί καθορίζει την απάντηση του υλικού σε εξωτερικά ερεθίσματα (Barnes HA, 1989). Παρατηρήθηκε ότι η ιξωδοελαστική συμπεριφορά αλλάζει μεταξύ των διαφόρων τύπων ρητινών (λεπτόρρευστες, μέσου ιξώδους και στοιβάξιμες) και ότι οι ρεολογικές ιδιότητες πιθανώς επηρεάζουν την ικανότητα διαχείρισης του υλικού (Lee I-B., 2003) (Beun S, 2008).

Για τη μέτρηση της ιξωδοελαστικότητας έχουν χρησιμοποιηθεί οι δοκιμασίες ερπυσμού, δοκιμασίες χαλάρωσης, καθώς και στατικές και δυναμικές δοκιμασίες διάτμησης (Lee I-B., 2003) (Craig RG, 2002) (Petrovic, 2015).

4. Εργαλεία σύνθετων ρητινών

Η σωστή προσαρμογή της σύνθετης ρητίνης στην κοιλότητα ενός δοντιού, χωρίς την παραμονή κενών χώρων μεταξύ δοντιού και υλικού, είναι πολύ σημαντική για τη σωστή συγκόλληση και την αντοχή του δεσμού στο χρόνο. Για λόγους αποτελεσματικού πολυμερισμού του υλικού, περιορισμού των τάσεων συστολής πολυμερισμού και μίξης χρωμάτων, έχει επικρατήσει η τοποθέτηση της σύνθετης ρητίνης να γίνεται κατά στρώματα στην κοιλότητα, ενώ η τελική διαμόρφωση της ανατομικότητας του δοντιού να γίνεται πριν τον πολυμερισμό του τελευταίου στρώματος.

Η αλληλουχία αυτή της σταδιακής τοποθέτησης της σύνθετης ρητίνης, επιβάλλει τη χρήση εργαλείων χειρός για την προσαρμογή και απόδοση της ανατομικότητας της σύνθετης ρητίνης στην κοιλότητα. Τα εργαλεία αυτά είναι κατάλληλου σχήματος, αναλόγως της ανατομίας του

δοντιού που πρόκειται να αποδώσουν, ενώ η σύνθεσή τους πρέπει να είναι τέτοια που να παρεμποδίζεται ο χρωματισμός της σύνθετης ρητίνης από προϊόντα οξείδωσης των εργαλείων. Εξίσου σημαντικό είναι να μην κολλά η απολυμέριστη σύνθετη ρητίνη σε αυτά, ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή προσαρμογή του υλικού στην κοιλότητα, χωρίς την αποκόλλησή του από αυτή κατά την απόσυρση των εργαλείων μετά το στοιβαγμό του υλικού.

Για να επιτευχθούν οι δύο τελευταίοι στόχοι, έχουν κατασκευαστεί ειδικά εργαλεία συνθέτων ρητινών από διάφορα κράματα.

4.1 Ανοξειδωτος χάλυβας

Ο ανοξειδωτος χάλυβας είναι κράμα των στοιχείων σιδήρου, άνθρακα και χρωμίου. Το χρώμιο είναι το στοιχείο που προσδίδει στον χάλυβα αντοχή στην διάβρωση, δημιουργώντας ένα μικροσκοπικό στρώμα, 10 – 100nm, τριοξειδίου του χρωμίου το οποίο προστατεύει το μεταλλικό υπόστρωμα από την οξείδωση. Εκτός από χρώμιο, οι ανοξειδωτοι χάλυβες μπορεί να περιέχουν και άλλα στοιχεία, όπως το νικέλιο, το μολυβδαίνιο και το μαγγάνιο.

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες παράγονται σε ηλεκτρικές καμίνους με τήξη σιδήρου, σιδηροκραμάτων και άλλων μεταλλικών προσθηκών. Σε σύγκριση με τους κοινούς χάλυβες, παρουσιάζουν υψηλότερη αντοχή στην διάβρωση και επιπλέον υψηλότερη μηχανική αντοχή. Ωστόσο, είναι πιο σκληροί και γι' αυτό πιο δυσκατέργαστοι. Οι ανοξειδωτοι χάλυβες παρουσιάζουν επίσης χαμηλότερη θερμική αγωγιμότητα.

4.2 Κράματα επιμεταλλωμένα με χρυσό

Η επιμετάλλωση συνίσταται στην επικάλυψη ενός αντικειμένου με ένα λεπτό στρώμα κάποιου μετάλλου. Το μέταλλο που επικάθεται επιφανειακά, αποτρέπει κάποιες ανεπιθύμητες ιδιότητες του αντικειμένου που καλύπτεται. Το στρώμα του μετάλλου που επικάθεται είναι πολύ λεπτό της τάξεως του 1μm. Η επιμετάλλωση γίνεται σχεδόν πάντα με την ηλεκτρολυτική μέθοδο. Εκτός από την ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σπανιότερα είναι η χημική και η μηχανική επιμετάλλωση. Η επιμετάλλωση με χρυσό είναι η επικάλυψη ενός μεταλλικού αντικειμένου με χρυσό, η οποία αποτρέπει την επιφανειακή οξείδωση, διότι το στρώμα χρυσού δεν οξειδώνεται.

4.3 Ανοδιωμένο αλουμίνιο

Το καθαρό αλουμίνιο είναι ανθεκτικό στη διάβρωση, καθώς όταν εκτίθεται στον ατμοσφαιρικό αέρα σχηματίζεται πάνω στην επιφάνειά του στρώμα οξειδίου του αλουμινίου, που το προστατεύει. Το καθαρό αλουμίνιο όμως έχει μικρή σκληρότητα. Για το λόγο αυτό παράγονται κράματα αλουμινίου, με καλές μηχανικές ιδιότητες. Τα κράματα του αλουμινίου όμως έχουν μικρή αντοχή στη διάβρωση. Για αυτό το λόγο, εφαρμόζεται η ανοδική οξείδωση (ανοδίωση) του αλουμινίου, με την οποία δημιουργείται τεχνητά, μέσω της ηλεκτροχημικής μεθόδου, στρώμα οξειδίου του αλουμινίου με πάχος συνήθως 10-30μm, το οποίο είναι διαφανές. Κατά την ανοδίωση του αλουμινίου το υπόστρωμα αλουμινίου εμβαπτίζεται σε ένα υδατικό διάλυμα ηλεκτρολυτών ρυθμιζόμενης οξύτητας και δημιουργείται μια στοιβάδα οξειδίου στην επιφάνειά του. Η ανοδίωση λοιπόν, είναι μια ελεγχόμενη οξείδωση.

4.4 Νιτρίδιο του τιτανίου

Το TiN ανήκει στην κατηγορία των νιτρίδιων των μετάλλων μεταπτώσεως, που παρουσιάζουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά όπως κρυσταλλική και ηλεκτρονική δομή, ομοιοπολικό τύπο δεσμών, υψηλή σκληρότητα κλπ. Στις εφαρμογές του TiN περιλαμβάνονται οι σκληρές επικαλύψεις κατά της φθοράς και οι αντιδιαβρωτικές επικαλύψεις. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στα εργαλεία κοπής και λόγω των καλών χημικών του ιδιοτήτων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στη μικροηλεκτρονική. Το TiN είναι μη τοξικό, πληροί τις κατευθυντήριες οδηγίες της FDA και έχει αρκετές χρήσεις σε ιατρικές συσκευές όπως νυστέρια και ορθοπεδικά πριόνια. Οι επικαλύψεις TiN έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί σε ιατρικά εμφυτεύματα, όπως ειδικά εμφυτεύματα αντικατάστασης ισχίου.

5. Προσκόλληση

Οι σύνθετες ρητίνες έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να πληρούν ορισμένες προδιαγραφές και να έχουν συστηματοποιημένες ιδιότητες. Οι ιδιότητες όμως επηρεάζονται ως ένα βαθμό και από τον τρόπο διαχείρισης. Ως εκ τούτου η τεχνική ευαισθησία μπορεί να έχει αντίκτυπο στις ιδιότητες που μπορούν να αποκτηθούν από το υλικό και συνεπώς στην επιτυχία των αποκαταστάσεων (Ferracane JL, 2017). Η ικανότητα ενός υλικού να προσκολλάται όταν έρχεται σε επαφή με μια δεύτερη επιφάνεια, είναι βασική ιδιότητα για την κλινική διαχείριση του υλικού. Με τον όρο προσκόλληση, αναφερόμαστε στην τάση της σύνθετης ρητίνης να συγκρατείται στο εργαλείο τοποθέτησης καθώς το υλικό τοποθετείται στην κοιλότητα. Ιδανικά η σύνθετη ρητίνη θα πρέπει να συγκρατείται στην κοιλότητα και να μην τραβιέται ή παραμορφώνεται

καθώς το εργαλείο απομακρύνεται από τη μάζα της (Ferracane JL, 2017). Με την τοποθέτηση του υλικού στην κοιλότητα, είναι επιθυμητή η άμεση διαβροχή της περιοχής έμφραξης και με την άρση της δύναμης, το υλικό να παραμείνει στη θέση του χωρίς να κολλάει στο εργαλείο.

Η κλινική επιτυχία των εμφράξεων με σύνθετη ρητίνη επηρεάζεται από τη δυνατότητα διαχείρισης του υλικού κατά την τοποθέτηση. Κατά την κλινική διαδικασία η τοποθέτηση γίνεται με εργαλεία διαφορετικά σε σύνθεση, σχήματα και μεγέθη, με έγχυση απ' ευθείας από καψουλάκια ή διαμορφώνεται με εντρυπτήρες και πινέλα. Υλικά με αυξημένη προσκόλληση χρειάζονται προσεκτική τοποθέτηση διότι ο ατελής στοιβαγμός μπορεί να δημιουργήσει κενά, μικροπορότητες και ανοιχτά όρια με επακόλουθο τη μείωση της αντοχής, απώλεια της οριακής ακεραιότητας, μείωση της αντίστασης στην αποτριβή (Rosentritt M, 2014), αποχρωματισμό και τελικά στην αποτυχία της αποκατάστασης (Kaleem M, 2011).

Η πορότητα μπορεί να παρουσιαστεί με τη μορφή κενών είτε στην επιφάνεια είτε στη μεσόφαση μεταξύ σύνθετης ρητίνης και δοντιού είτε μεταξύ διαδοχικών στρωμάτων σύνθετης ρητίνης (Ferracane JL, 2017). Όταν εμφανίζονται στις μεσοφάσεις, η πορότητα σχετίζεται τουλάχιστον έμμεσα, με την προσκόλληση των συνθέτων ρητινών. Όσο πιο κολλώδης είναι η σύνθετη ρητίνη, τόσο πιο πιθανό είναι να συγκολλάται στο εργαλείο τοποθέτησης και να προσαρμόζεται ελάχιστα στα τοιχώματα της κοιλότητας ή σε προηγούμενο στρώμα σύνθετης ρητίνης, δημιουργώντας κενά τα οποία με τη σειρά τους υποβαθμίζουν τις μηχανικές και αισθητικές ιδιότητες των εμφράξεων σύνθετης ρητίνης.

Υπάρχουν υλικά που χρησιμοποιούνται ως παράγοντες λίπανσης των εργαλείων χειρισμού σύνθετης ρητίνης και διευκολύνουν στον

χειρισμό αυτών στη διαστρωματική τεχνική (Tjan AH, 1988) (Caughman WF, 1984). Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντώνται και ως διαλύτες (diluent), ως παράγοντες διαμόρφωσης - μοντελοποίησης (modeling) και ως παράγοντες διαβροχής (wetting). Υλικά με την παραπάνω ιδιότητα είναι η αιθυλική αλκοόλη, η ισοπροπυλική αλκοόλη, η ακετόνη και πολλά συγκολλητικά συστήματα σύνθετης ρητίνης (Eliades GC, 1989) (Perdigao J, 2006) (Tuncer S, 2013) (Hamouda, 2017) (Sedrez-Porto JA, 2016) (Barcellos DC, 2008) (Pereira SG, 2005) (Tjan AH, 1988) (Caughman WF, 1984).

Αιθυλική αλκοόλη

Η αιθυλική αλκοόλη περιεκτικότητας 70% αποτελεί μία από τις πρώτες ουσίες που προτάθηκαν για τη διαβροχή των εργαλείων χειρισμού σύνθετης ρητίνης, ώστε να μειωθεί το ποσοστό πρόσφυσης αυτών στο εργαλείο. Το μειονέκτημα του συγκεκριμένου υλικού ήταν η διαλυτική του δράση. Τα στρώματα της σύνθετης ρητίνης που έρχονταν σε επαφή με την αιθυλική αλκοόλη αποτύγγαναν να συγκολληθούν ορθά, ενώ εμφάνιζαν λευκές αδιαφανείς περιοχές, ακριβώς στην περιοχή της αποτυχημένης συγκόλλησης (Tjan AH, 1988) (Sneed WD, 1980). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αιθανόλη αποτελεί έναν ισχυρό διαλύτη για την οργανική μήτρα των περισσότερων συνθέτων ρητινών. Η αφαίρεση της μεγαλύτερης ποσότητας οργανικών μονομερών από την επιφανειακή στιβάδα αναστολής πολυμερισμού με χρήση αιθυλικής αλκοόλης, καταλείπει στην επιφάνεια της σύνθετης ρητίνης τεράστιες ποσότητες ενισχυτικών ουσιών. Τούτο συνεπάγεται την χαμηλή τιμή δεσμού συγκόλλησης (αντοχή στον εφελκυσμό) και την έντονη χρωματική διαφορά των δύο τμημάτων του υλικού μετά τη θραύση, με χαρακτηριστική λευκή όψη κιμωλίας.

Ισοπροπυλική αλκοόλη

Η ισοπροπυλική αλκοόλη αποτελεί την απλούστερη μορφή δευτεροταγούς αλκοόλης και χρησιμοποιήθηκε ως παράγοντας λίπανσης σε πολλές μελέτες, λόγω της υδροφιλίας της (Tjan AH, 1988) (Caughman WF, 1984) (Perdigao J, 2006). Παρόμοια με την αιθυλική αλκοόλη, τα αποτελέσματα ως προς την επίδρασή της στις ιδιότητες των συνθέτων ρητινών ήταν αρνητικά. Η εξήγηση που δίνεται είναι ότι η υδρόφιλη αυτή αλκοόλη αφήνει υγρασία στο εργαλείο, η οποία συνεπάγεται επιμόλυνση στην επιφάνεια της σύνθετης ρητίνης που το εργαλείο έρχεται σε επαφή.

Προπανόνη

Η προπανόνη αποτελεί εξαιρετικά πτητική ουσία σε θερμοκρασία δωματίου και συνήθως χρησιμοποιείται στην καθαρή μορφή της, χωρίς την παρουσία νερού (Eliades GC, 1989) (Perdigao J, 2006). Παρ' όλα αυτά η αντοχή του δεσμού συγκόλλησης είναι χαμηλή, όταν χρησιμοποιηθεί ακετόνη ως παράγοντας διαβροχής του εργαλείου, αντίστοιχη με αυτή της διαβροχής με ισοπροπυλική αλκοόλη. Σχηματίζεται μικρότερου πάχους ζώνης αναστολής πολυμερισμού, καθώς η ακετόνη εμποδίζει την επαφή του εξωτερικού στρώματος της σύνθετης ρητίνης με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο.

Συγκολλητικά συστήματα συνθέτων ρητινών

Τα συγκολλητικά συστήματα συνθέτων ρητινών έχουν μελετηθεί περισσότερο από κάθε άλλο είδος παράγοντα διαβροχής εργαλείων σύνθετης ρητίνης. Σε μία από τις πρώτες μελέτες, ο δεσμός μεταξύ δύο διαδοχικών στρωμάτων σύνθετης ρητίνης με βάση το μονομερές Bis-GMA δεν φάνηκε να επηρεάζεται από το είδος του μέσου λίπανσης που χρησιμοποιήθηκε κατά το χειρισμό της σύνθετης ρητίνης (Caughman WF, 1984). Η μελέτη των Perdigao και συν. τεκμηριώνει την γνώση ότι η παρουσία νερού ως διαλύτη ή και υδρόφιλων συστατικών στα συγκολλητικά συστήματα οδοντίνης επηρεάζει αρνητικά τη δυνατότητα συγκόλλησης μεταξύ δύο στρωμάτων σύνθετης ρητίνης (Perdigao J, 2006). Ο ρόλος των διαλυτών των συγκολλητικών συστημάτων σύνθετης ρητίνης επισημαίνεται και στη μελέτη των Barcellos και συν. όπου βρέθηκε ότι ένα συγκολλητικό σύστημα αδαμαντίνης υπερτερεί των υπολοίπων όσον αφορά στην ισχύ του δεσμού που προκύπτει όταν παρεμβληθεί ως λιπαντικός παράγοντας μεταξύ δυο διαδοχικών στρωμάτων σύνθετης ρητίνης (Barcellos DC, 2008).

5.1 Δοκιμασίες αξιολόγησης της προσκόλλησης

Έχουν καταρτιστεί αρκετές δοκιμασίες για την αξιολόγηση της προσκόλλησης, ωστόσο δεν υπάρχει εργαστηριακή δοκιμασία που να παρομοιάζει την κλινική πραγματικότητα (Rosentritt M, 2014).

Εμβύθιση στυλεού σε μάζα υλικού

Ένας καθορισμένος όγκος υλικού τοποθετείται σε μια μήτρα και στη συνέχεια μια χαλύβδινη ράβδος εισάγεται στο απολυμέριστο υλικό με σταθερό ρυθμό, μέχρι να επιτευχθεί μια προκαθορισμένη δύναμη ή βάθος. Τότε η κίνηση αντιστρέφεται, το εργαλείο αρχίζει να

απομακρύνεται και καθώς εξέρχεται επιμηκύνεται το υλικό μέχρι να διαχωριστεί πλήρως από το εργαλείο (Ertl K, 2010), (Kaleem M, 2009), (Khaldoon A. Al-Sharaa, 2003).

Τοποθέτηση κομβίου σύνθετης ρητίνης σε στυλεό και μέτρηση της δύναμης αποκόλλησης

Άλλη εργαστηριακή δοκιμασία που επιτρέπει την αξιολόγηση της προσκόλλησης είναι μέσω της τοποθέτησης ποσότητας σύνθετης ρητίνης στην άκρη στυλεού, ο οποίος με τη σειρά του μετακινείται με επιλεγμένη ταχύτητα και δύναμη, ακουμπά το κομβίο υλικού σε καθορισμένη επιφάνεια και στη συνέχεια απομακρύνεται (Rosentritt M, 2014). Η συγκεκριμένη δοκιμασία παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα όπως το ότι δεν μπορεί να προσδιοριστεί η ποσότητα σύνθετης ρητίνης στο εργαλείο. Επιπλέον, με την αρχική άσκηση δύναμης, το εργαλείο δημιουργεί ένα εντύπωμα πάνω στο υλικό γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα καθώς διαβρέχονται και τα πλαϊνά τοιχώματα του εργαλείου. Τέλος, η δοκιμασία δίνει μια συνολική τιμή για την προσκόλληση, η οποία δεν διαφοροποιείται αν προκύπτει από το εργαλείο ή το υπόστρωμα (Rosentritt M, 2014).

Μέτρηση της επιφάνειας εργαλείου που καλύπτεται από υλικό

Μετά τη διαδικασία εμβύθισης του εργαλείου στη μάζα του υλικού γίνεται πολυμερισμός και παρατήρηση σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του εργαλείου. Αξιολογείται η ποσότητα προσκολλημένου υλικού βασισμένη στον ατομικό αριθμό, υπολογίζοντας το ποσοστό του πολυμερισμένου υλικού προς τη συνολική επιφάνεια του εργαλείου σε κάτοψη (Leppaniemi J, 2017).

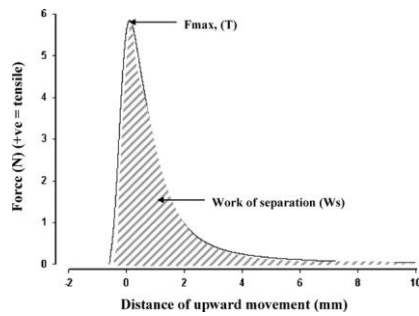
Αξιολόγηση της προσκόλλησης

Η προσκόλληση μπορεί να εκτιμηθεί με υποκειμενικά κριτήρια για τα χαρακτηριστικά χειρισμού των συνθέτων ρητινών. Η εκτίμηση από κλινικούς οδοντίατρους διαμορφώνεται μετά την κλινική προσομοίωση τοποθέτησης τους σε κοιλότητα και τη βαθμολόγηση της ευκολίας της κλινικής διαχείρισης τους, εν προκειμένω της ευκολίας αποκόλλησης του εργαλείου μετά την τοποθέτηση (Rosentritt M, 2014). Η υποκειμενική αξιολόγηση φάνηκε να έχει θετική συσχέτιση με τα αποτελέσματα της εργαστηριακής δοκιμασίας της ίδια μελέτης η οποία συσχετίζει το έργο αποκόλλησης και τη δύναμη διαφόρων σύνθετων ρητινών (Rosentritt M, 2014). Μολαταύτα, η υποκειμενική αξιολόγηση δε μπορεί από μόνη της να θεωρηθεί αξιόπιστος δείκτης μέτρησης της προσκόλλησης.

Ανάλογα με την εργαστηριακή δοκιμασία και τις δυνατότητες της πειραματικής διάταξης, ο προσδιορισμός της προσκόλλησης γίνεται μέσω των παρακάτω:

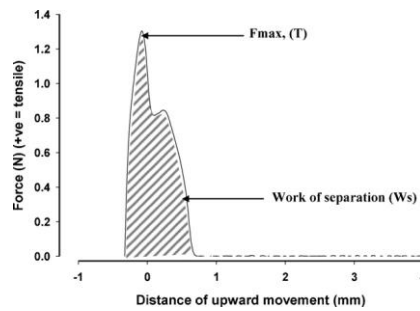
Δύναμη απομάκρυνσης:

Η δύναμη απομάκρυνσης ή F_{max} παρουσιάζει την εφελκυστική δύναμη που ασκεί το υλικό στο εργαλείο όταν αυτό απομακρύνεται. Η δύναμη αρχικά με την απομάκρυνση του εργαλείου αυξάνεται γραμμικά και φτάνει σε ένα σημείο διαρροής που αντιστοιχεί στο σημείο όπου η σύνθετη ρητίνη αρχίζει να δημιουργεί κενό και να απομακρύνεται οριστικά από την επιφάνεια του εργαλείου, όπως φαίνεται στην εικόνα 1 (Kaleem M, 2011).



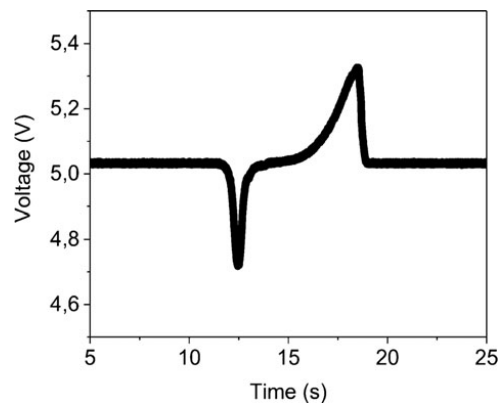
Εικόνα 1. Διάγραμμα Δύναμης-Μετατόπισης

Στην πειραματική δοκιμασία με την εμβύθιση του στυλεού σε μάζα υλικού, στη φάση αποκόλλησης το εργαλείο απομακρύνεται με σταθερή ταχύτητα και καθώς εξέρχεται το υλικό επιμηκύνεται και ασκεί εφελκυστική δύναμη στον μετρητή που είναι συνδεδεμένο το εργαλείο. Έχουν παρατηρηθεί δύο τύποι διαγράμματος δύναμης / μετατόπισης. Ο πρώτος τύπος εμφανίζει μια και μοναδική κορυφή ενώ ο δεύτερος τύπος εμφανίζει μια αρχική κορυφή ακολουθούμενη από μια δεύτερη μικρότερη σε ύψος όπως στην εικόνα 2 (Kaleem M, 2011), (Kaleem M, 2009) (Yang J, 2019). Η δεύτερη κορυφή αντιπροσωπεύει την ελαστικότητα του υλικού με τον διαχωρισμό υλικού και εργαλείου να είναι πιο σταδιακός. Όταν οι δυνάμεις μεταξύ υλικού και εργαλείου είναι μικρότερες από την δύναμη που χρειάζεται για να επιμηκυνθεί η μάζα του υλικού, η δεύτερη κορυφή είναι μικρότερη ή και απύσα. Μετά την πρώτη κορυφή η δύναμη απομάκρυνσης μειώνεται γρήγορα και σταδιακά γίνεται μηδέν (Loumprinis N., 2021).



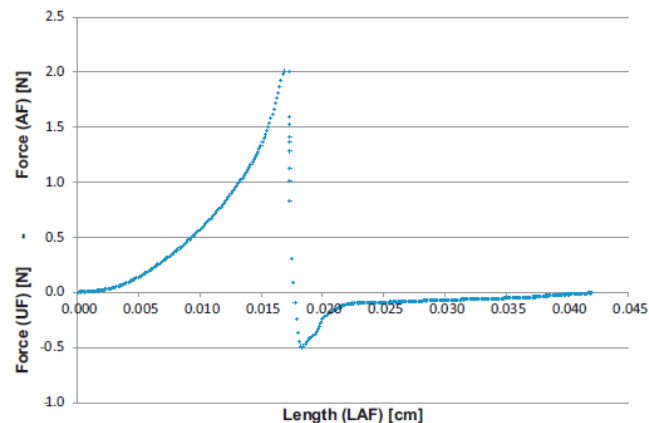
Εικόνα 2. Διάγραμμα Δύναμης-Μετατόπισης που παρουσιάζει δύο κορυφές

Στην διαδικασία με την ποσότητα προσκολλημένου υλικού πάνω στο εργαλείο υπολογίζεται επίσης από την κορυφή δυναμικού του ρεύματος, χρησιμοποιώντας τη μετατροπή μέσω αναλογίας του δυναμικού σε δύναμη, που έγινε στη βαθμονόμηση (Leppaniemi J, 2017).



Εικόνα 3 Η αρνητική κορυφή (13s) παρουσιάζει τη στιγμή της πρώτης επαφής του εργαλείου με τη σύνθετη ρητίνη. Καθώς απομακρύνεται το εργαλείο μετά τα 15s και το υλικό αντιστέκεται στην κίνηση προκαλεί αύξηση του δυναμικού φτάνοντας σε μια κορυφή δυναμικού στα 17s, μέχρι την αποκόλληση του εργαλείου. Για να υπάρχει υψηλή δύναμη απομάκρυνσης, το δυναμικό στη φάση προσκόλλησης θα πρέπει να είναι μικρό και υψηλό στην φάση αποκόλλησης (Chuang, 1997).

Στο πείραμα των Rosentritt και συν. (Rosentritt M, 2014) όπου επιλέχθηκε η δοκιμασία της τοποθέτησης ποσότητας σύνθετης ρητίνης στην άκρη στυλεού που στη συνέχεια αποκολλάται, το διάγραμμα της δύναμης αποκόλλησης σε σχέση με την απόσταση απομάκρυνσης φαίνεται στην εικόνα 4.



Εικόνα 4 Διάγραμμα δύναμης- μετατόπισης

Έργο (W)

Μέσω της καταγραφής της δύναμης που χρειάζεται για την εφαρμογή της σύνθετης ρητίνης και στη συνέχεια για την απομάκρυνση του εργαλείου και της επιμήκυνσης της σύνθετης ρητίνης, υπολογίζεται το έργο (W). Υπολογίζεται μέσω του εμβαδού που είναι κάτω από την καμπύλη στο διάγραμμα δύναμης/ μετατόπισης. Το έργο συνδυάζει την ενέργεια που είναι απαραίτητη για το διαχωρισμό της ρητίνης από το υπόστρωμα και τη συνοχής της σύνθετης ρητίνης και σχετίζεται με τις ιδιότητες διάτμησης (Rosentritt M, 2014).

Ύψος των κορυφών

Το ύψος των κορυφών εξαρτάται από την διαβροχή και το επίπεδο αντίστασης κατά την απομάκρυνση. Οι δύο αυτοί παράγοντες λειτουργούν σε αντίθετες κατευθύνσεις. Οι ρητίνες που έχουν “μαλακή” δομή έχουν αυξημένη δυνατότητα προσκόλλησης στο εργαλείο αλλά και μειωμένη αντίσταση στις δυνάμεις αποκόλλησης, ενώ μια “σκληρή”

ρητίνη έχει φτωχότερη ικανότητα διαβροχής και μειωμένη αντίσταση στις δυνάμεις αποκόλλησης (Kaleem M, 2011) .

Η μέγιστη κορυφή αντιστοιχεί στην μέγιστη εφελκυστική δύναμη που ασκεί το υλικό στο εργαλείο (Kaleem M, 2011) και αντικατοπτρίζεται στο διάγραμμα δύναμης-μετατόπισης με την μέγιστη κορυφή (Ertl K, 2010), (Kaleem M, 2009), (Khaldoon A. Al-Sharaa, 2003). Επιπλέον άλλη μια μέθοδος προσδιορισμού της κολλώδους ιδιότητας είναι αμέσως μετά το διαχωρισμό του υλικού από το εργαλείο και καθώς το εργαλείο έχει επιμηκύνει το υλικό, πολυμερίζεται οπότε σκληραίνει αφήνοντας την επιφάνεια σε σχήμα κορυφής. Το ύψος της κορυφής (peak height) μετριέται με τη βοήθεια οπτικού προφιλόμετρου (Leppaniemi J, 2017) (Rosentritt M, 2014).

Σύμφωνα με τον Leppaniemi και συν. η μέγιστη κορυφή που αντιστοιχεί στην μέγιστη δύναμη απομάκρυνσης υπολογίζεται από τον χρόνο μεταξύ δυναμικού κορυφής και δυναμικού κοιλάδας (voltage valley) γνωρίζοντας το βάθος, την ταχύτητα απομάκρυνσης, τον χρόνο καθυστέρησης και την επιτάχυνση (Leppaniemi J, 2017).

5.2 Παράγοντες επηρεασμού της προσκόλλησης

Θερμοκρασία

Οι στοιβάξιμες σύνθετες ρητίνες, λόγω του υψηλού ιξώδους γίνονται ιδιαίτερα στοκώδεις και δύσκολες στο χειρισμό με αποτέλεσμα η τοποθέτηση τους και η εφαρμογή στα τοιχώματα της κοιλότητας να γίνεται δυσχερής και απρόβλεπτη. Φαίνεται ότι με αύξηση της θερμοκρασίας επέρχεται μείωση του ιξώδους με αποτέλεσμα την βελτίωση της προσαρμογής στα τοιχώματα (Daronch M R. F., 2005) .

Η αύξηση της θερμοκρασίας επιτρέπει μεγαλύτερη κίνηση των μονομερών και μείωση της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς (Silikas N, 1999). Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται αναμένεται η σύνθετη ρητίνη να εκτείνεται πιο εύκολα με την απομάκρυνση του εργαλείου, δηλαδή αναμένεται η δύναμη αποκόλλησης (F_{max}) να είναι μικρότερη (Kaleem M, 2009).

Τα αποτελέσματα στη βιβλιογραφία για την επίδραση της θερμοκρασίας στην αύξηση της προσκόλλησης είναι αντικρουόμενα. Σε εργασία των Kaleem και συν. για τις σύνθετες ρητίνες που αξιολογήθηκαν δε βρέθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση της θερμοκρασίας στο F_{max} και W , παρά μόνο μικρή μείωση του F_{max} και W με αύξηση της θερμοκρασίας (Kaleem M, 2009). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία επηρεάζει κυρίως τη ρητινώδη μήτρα και στη συγκεκριμένη δοκιμασία όλες οι σύνθετες ρητίνες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν την ίδια σύνθεση μονομερούς και μάλιστα σε μικρό ποσοστό της συνολικής σύνθεσης των ρητινών. Επίσης καθώς η θερμοκρασία της σύνθετης ρητίνης μπορεί να μειωθεί γρήγορα στα φυσιολογικά επίπεδα μετά την απομάκρυνση της από τη συσκευή προθέρμανσης, για αυτό το λόγο η προθερμασμένη ρητίνη στους 37°C έδειξε παρόμοια αποτελέσματα για την δύναμη απομάκρυνσης σε σχέση με τη μη προθερμασμένη ίδια ρητίνη, αντίθετα για τη θερμοκρασία τοποθέτησης στους 22°C βρέθηκε σε στατιστικά σημαντικό βαθμό μείωση της δύναμης απομάκρυνσης (Yang J, 2019).

Αντίθετα σε εργασία των Kaleem και συν. η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της δύναμης απομάκρυνσης (F_{max}) και του έργου (W) σε στατιστικά σημαντικό βαθμό όπως επίσης και οι Ertl και συν. υποστήριξαν το ίδιο με αύξηση της θερμοκρασίας από τους 23°C στους 37°C (Kaleem M, 2011) (Ertl K, 2010). Ενώ οι Yang και

συν. υποστηρίζουν ότι αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση της F_{max} αλλά αύξηση του W σε στατιστικά σημαντικό βαθμό, υποστηρίζοντας ότι το έργο είναι πιο ευαίσθητο σαν παράμετρος μέτρησης της προσκόλλησης (Yang J, 2019). Επίσης και στη μελέτη των Rosentritt και συν. οι δυνάμεις τοποθέτησης βρέθηκαν μικρότερες όταν η θερμοκρασία τοποθέτησης αυξήθηκε (Rosentritt M, 2014).

Σύνθεση της ρητίνης

Οι ενισχυτικές ουσίες μπορούν να επηρεάσουν την προσκόλληση μέσω του ιξώδους.

Στο πείραμα των Kaleem και συν. αύξηση των κόκκων είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της προσκόλλησης (Kaleem M, 2011). Αντίθετα στο πείραμα των Yang και συν. παρά το αυξημένο ποσοστό ενισχυτικών κόκκων, η προσκόλληση είναι αυξημένη (Yang J, 2019). Πιθανά αυτό μπορεί να προκαλείται από το πολυμερές πλέγμα.

Οι ανομοιομόρφοι κόκκοι με αύξηση του μεγέθους παρουσιάζουν μείωση της δύναμης αποκόλλησης (F_{max}) και του Έργου (W) σε στατιστικά σημαντικό βαθμό (Kaleem M, 2009). Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι οι ανομοιομόρφοι κόκκοι σε μεγαλύτερο ποσοστό δημιουργούν συσσωματώματα ή κλειδώνουν καλύτερα μεταξύ τους με αποτέλεσμα την αντίσταση στην παραμόρφωση προς τη δύναμη κατά την αποκόλληση.

Στους σφαιρικούς κόκκους αύξηση του μεγέθους στα 1000nm, με ταχύτητα απομάκρυνσης 8mm/s, προκαλεί αύξηση F_{max} και W σε στατιστικά σημαντικό βαθμό σε σχέση με τα μικρότερα μεγέθη κόκκων (Kaleem M, 2009). Σε αυτό το μέγεθος παρατηρείται αύξηση της

ρητινώδους μήτρας λόγω της αύξησης του χώρου μεταξύ των κόκκων, έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης στην αποκόλληση λόγω της αυξημένης αντοχής στη διάτμηση μεταξύ των πολυμερών αλυσίδων (Chuang, 1997).

Πολλές εμπορικές σύνθετες ρητίνες έχουν διαφορετικά μεγέθη ενισχυτικών κόκκων ώστε να αυξηθεί το ποσοστό τους. Στη σύνθετη ρητίνη με πολλά μεγέθη σφαιρικών κόκκων παρατηρήθηκε αύξηση της δύναμης αποκόλλησης και του έργου σε σχέση με τους ανομοιομορφους. Σε αυτήν την παρατήρηση δεν μπορεί να αποδοθεί πλήρης αιτιολόγηση καθώς είναι αρκετοί οι εμπλεκόμενοι παράγοντες (Kaleem M, 2009).

Ταχύτητα απομάκρυνσης

Η ταχύτητα απομάκρυνσης αναφέρεται στην ταχύτητα με την οποία απομακρύνεται το εργαλείο από τη υλικό. Η ταχύτητα μπορεί να είναι σταθερή και να παίρνει τιμές από 1mm/s έως 8mm/s, μπορεί όμως και να έχει και επιτάχυνση 2mm/s^{-2} (Leppaniemi J, 2017) (Kaleem M, 2011) (Ertl K, 2010) (Khaldoon A. Al-Sharaa, 2003) (Kaleem M, 2009) (Yang J, 2019).

Σε μερικές μελέτες φάνηκε ότι η αύξηση της ταχύτητας προκαλεί αύξηση της F_{\max} και W σε στατιστικά σημαντικό βαθμό (Kaleem M, 2011) (Kaleem M, 2009). Αυτό πιθανά εξηγείται καθώς σε χαμηλή ταχύτητα αυξάνεται ο χρόνος για την πολυμερή δομή να χαλαρώσει και να προσαρμοστεί στην εφελκυστική τάση (Kaleem M, 2011). Στη μελέτη των Ertl και συν. η αύξηση της ταχύτητας απομάκρυνσης προκάλεσε μείωση των ύψος των κορυφών (Ertl K, 2010).

Το υπόστρωμα

Στο πείραμα των Ertl και συν. συγκρίθηκε η προσκόλληση που εμφανίζουν οι σύνθετες ρητίνες όταν έρχονται σε επαφή με ανοξειδωτο ατσάλι, οδοντίνη, οδοντίνη επικαλυμμένη με συγκολλητικό καθολικής αδροποίησης και αυτοσυγκολλητικό (Ertl K, 2010). Βρέθηκε πως για όλες τις σύνθετες ρητίνες η προσκόλληση είναι μεγαλύτερη στην οδοντίνη από ότι στο ανοξειδωτο ατσάλι και ελάχιστη στην συγκολλημένη οδοντίνη. Σε φωτογραφίες από SEM, σε αδροποιημένη οδοντίνη με συγκολλητικό τα οδοντινοσωληνάρια είναι κλειστά ενώ σε μη επεξεργασμένη οδοντίνη είναι ανοιχτά οπότε η αύξηση της επιφάνειας προκαλεί αύξηση της συγκράτησης χωρίς όμως αυτό να αντιστοιχεί στην πραγματική κλινική πράξη.

Δύναμη τοποθέτησης

Σε έρευνα των Rosentritt και συν. αξιολογήθηκε η δύναμη τοποθέτησης της σύνθετης ρητίνης μέσα στην κοιλότητα και βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ 0,58-2,23N, οι οποίες έρχονται σε συμφωνία με τα ευρήματα των Kaleem και συν. (Kaleem M, 2011) (Rosentritt M, 2014).

B. Ειδικό μέρος

1.Σκοπός

Η παρούσα εργαστηριακή μελέτη στοχεύει στην αξιολόγηση της προσκόλλησης εργαλείων συνθέτων ρητινών, α) επιμεταλλωμένων με χρυσό, β) κατασκευασμένων από ανοδιωμένο αλουμίνιο, γ) επικαλυμμένων με νιτρίδιο τιτανίου και δ) κατασκευασμένων από ανοξείδωτο χάλυβα, σε διαφορετικά βάθη ενός σκευάσματος φωτοπολυμεριζόμενης νανο-υβριδικής σύνθετης ρητίνης, πριν τον πολυμερισμό της.

2. Μηδενική υπόθεση

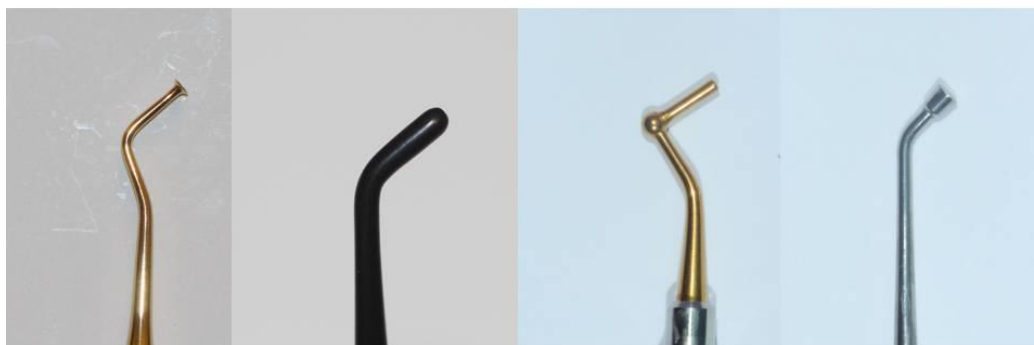
Η μηδενική υπόθεση της μελέτης είναι ότι τα εργαλεία διαφορετικής σύνθεσης δεν έχουν διαφορά στην προσκόλληση της σύνθετης ρητίνης, σε κανένα βάθος βύθισης. Επίσης το βάθος βύθισης δεν επηρεάζει την προσκόλληση ενός εργαλείου μιας ορισμένης σύνθεσης.

3.Υλικά και μέθοδος

3.1 Υλικά

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη φαίνονται παρακάτω στην Εικόνα 5, ενώ τα στοιχεία τους περιγράφονται στον

Πίνακα1.



Εικόνα 5 Τα εργαλεία με τις διαφορετικές συνδέσεις: Α.Αescular, Β.Βontempi, Γ.Γarisson, Δ.Ηu Friedy

Κατασκευαστής	Σύνθεση	Σχήμα	Εμβαδό άκρου
Aescular Tuttlngen, Germany	Επικάλυψη χρυσού	Δισκοειδές	4,9mm ²
Bontempi Camerano, Italy	Ανοδιωμένο Αλουμίνιο	Αποστρογγυλεμένο κυλινδρο-κωνικό	2,89 mm ² / 350μm από το άκρο 3,37 mm ² / 400μm από το άκρο 3,78 mm ² / 450μm από το άκρο 4,23 mm ² / 500μm από το άκρο
Garisson Michigan, USA	Νιτρίδιο του Τιτανίου	Κυλινδρο-κωνικό	2,26 mm ²
Hu-Friedy Chicago, USA	Ανοξειδωτος Χάλυβας	Κυλινδρο-κωνικό	4,9 mm ²

Πίνακας 1 Εργαλεία συνθέτων ρητινών

Το εμβαδό του εργαλείου Bontempi στα διαφορετικά βάθη, υπολογίστηκε με τη βοήθεια του εργαστηριακού σαρωτή Smart Big (OpenTech3D, Brescia, Italy). Κατόπιν σάρωσης του άκρου, έγινε εισαγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου στο πακέτο λογισμικού 3D Slicer

(<https://www.slicer.org/>), με μορφή αρχείων “stl.”, προς επεξεργασία. Χρησιμοποιήθηκαν τα modules Reformat, Segment Editor, Dynamic Modeler και Segment Statistics με τη βοήθεια των οποίων υπολογίστηκε η επιφάνεια που αντιστοιχούσε σε κάθε μετρούμενη διαβάθμιση.

Η σύνθετη ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε και τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον Πίνακα 2.

Κατασκευαστής	Οργανική μήτρα	Ενισχυτικές ουσίες
Clearfil Majesty ES-2 Universal Kuraray Europe, GmbH	Bis-GMA Υδρόφοβα αρωματικά και αλειφατικά διμεθακρυλικά μονομερή	66% κ.ο (78% κ,β), σιλιανοποιημένοι κόκκοι βαρίου, προ-πολυμερισμένοι οργανικοί κόκκοι Μέσο μέγεθος 0,37-1,5μm

Πίνακας 2 Η σύνθετη ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη

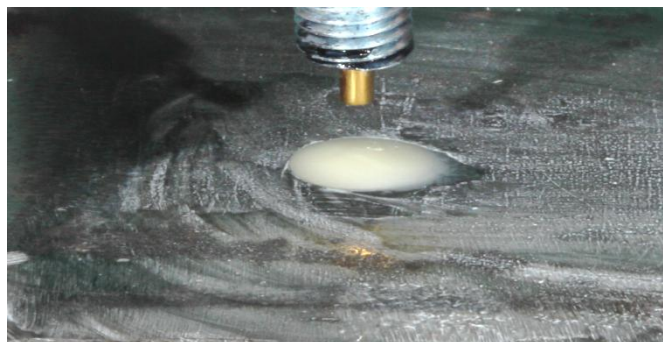
3.2 Μέθοδος

Το άκρο κάθε εργαλείου κόπηκε με δίσκο υπό καταιονισμό νερού, κάθετα στον επιμήκη άξονά του και συγκολλήθηκε σε ειδικά προσαρμοσμένους στυλεούς στον αναλυτή υφής TA.XT2i Texture Analyzer, (Stable Micro Systems, Godalming, United Kingdom) (Εικόνα 6), ώστε η επιφάνεια επαφής του εργαλείου με τη σύνθετη ρητίνη να είναι οριζόντια. Ο αναλυτής υφής έφερε δυναμομετρικό αισθητήρα 5kg, ακρίβεια μέτρησης δύναμης 0,0025% και ικανότητα διάκρισης μετατόπισης 0,0025mm.



Εικόνα 6. TA.XT2i Texture Analyzer

Η σύνθετη ρητίνη τοποθετήθηκε σε οπή διαμέτρου 7mm και βάθους 3,5mm σε βάση ανοξείδωτου χάλυβα, στο κάτω μέρος του αναλυτή (Εικόνα 7). Επιπεδώθηκε με τη βοήθεια ταινίας κελουλοΐτη και γυάλινης καλυπτρίδας.



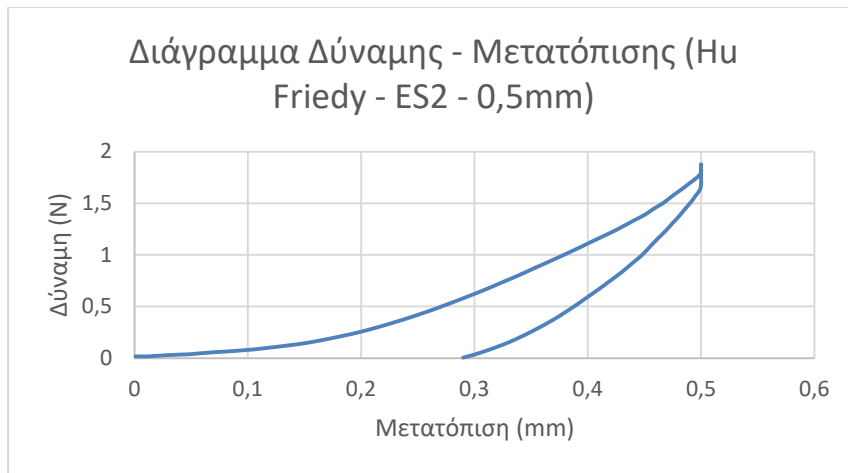
Εικόνα 7. Η βάση με την κοιλότητα στην οποία τοποθετήθηκε η σύνθετη ρητίνη

Η ταχύτητα κίνησης ήταν 5mm/s και τα βάθη εμβύθισης των εργαλείων στη σύνθετη ρητίνη προγραμματίστηκαν στα 350μm, 400μm, 450μm και 500μm. Το πείραμα έγινε σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού προς αποφυγή επίδρασης του φωτός στο υλικό και σε θερμοκρασία δωματίου 23°C. Μετά από κάθε εμβύθιση τα εργαλεία καθαρίζονταν με αιθυλική αλκοόλη και αφήνονταν για ένα λεπτό ώστε να εξατμιστεί η αλκοόλη, ενώ η σύνθετη ρητίνη επιπεδωνόταν πάλι. Έγιναν δεκαπέντε μετρήσεις ανά εργαλείο και ανά βάθος.

3.3 Μέτρηση της Ενέργειας Παραμόρφωσης

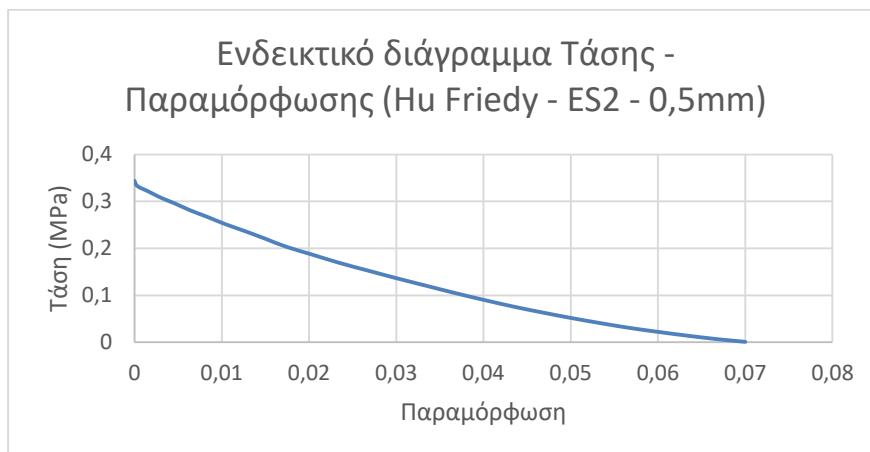
Ως μέτρο αξιολόγησης της προσκόλλησης του κάθε εργαλείου στη σύνθετη ρητίνη χρησιμοποιήθηκε η ενέργεια παραμόρφωσης και δευτερευόντως η μέγιστη τάση που καταγράφηκαν στα διαγράμματα του αναλυτή υφής κατά τη φάση ανόδου του μηχανήματος (εφελκυστική δύναμη).

Καθώς το εργαλείο βυθιζόταν και απομακρυνόταν από την σύνθετη ρητίνη, γινόταν καταγραφή της δύναμης από τη στιγμή της πρώτης επαφής με το υλικό, μέχρι το σημείο της μέγιστης καθορισμένης βύθισης κάθε φορά και μέχρι του μηδενισμού πάλι της δύναμης κατά την αποκόλληση του εργαλείου από τη σύνθετη ρητίνη (Εικόνα 8).



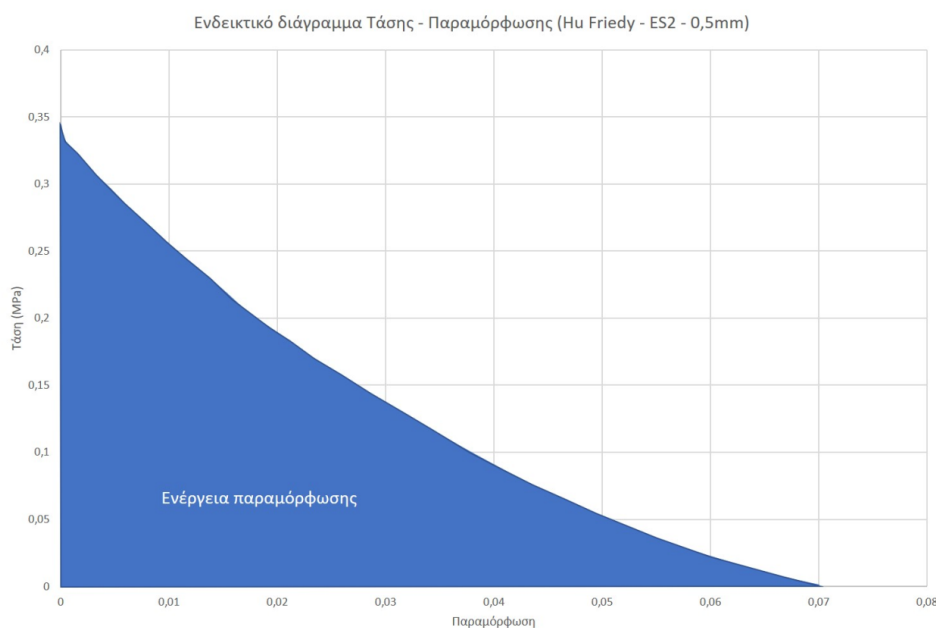
Εικόνα 8. Ενδεικτικό διάγραμμα Δύναμης-Μετατόπισης, για το εργαλείο Hu-Friedy σε μέγιστο βάθος εμφύθισης 0,5mm.

Από το συνολικό διάγραμμα, απομονώθηκε το τμήμα που αντιστοιχεί στην απομάκρυνση του εργαλείου από τη ρητίνη και έγινε αναγωγή της Δύναμης (N) σε Τάση (MPa), δηλαδή δύναμη απομάκρυνσης ανά εμβαδό εργαλείου και υπολογίστηκε επίσης η Παραμόρφωση (%) του υλικού (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Ενδεικτικό διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης, για το εργαλείο Hu-Friedy κατά τη φάση απομάκρυνσης από μέγιστο βάθος εμφύθισης 0,5mm.

Από το διάγραμμα Τάσης – Παραμόρφωσης, υπολογίστηκε το εμβαδό κάτω από την καμπύλη που αντιστοιχεί στην Ενέργεια Παραμόρφωσης (mJ/mm^3) που χρειάστηκε για την αποκόλληση του εργαλείου από τη σύνθετη ρητίνη (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Υπολογισμός Ενέργειας Παραμόρφωσης

3.4. Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση περιλάμβανε τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ Ενέργειας Παραμόρφωσης ή μεταξύ Μέγιστης Τάσης και του υλικού κατασκευής των εργαλείων για κάθε βάθος που ελέγχθηκε, καθώς επίσης και τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ Ενέργειας Παραμόρφωσης ή μεταξύ Μέγιστης Τάσης σε κάθε βάθος, για το ίδιο εργαλείο.

Για τον έλεγχο της ομαλότητας των κατανομών, χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία Kolmogorov-Smirnov. Για τις παραμέτρους με ομαλή κατανομή, χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία Anonva και η δοκιμασία Levene

για τον έλεγχο της ομοιογένειας της διακύμανσης. Ακολούθησαν αναλόγως της καταλληλότητάς τους οι post-hoc δοκιμασίες Bonferroni ή Games-Howell.

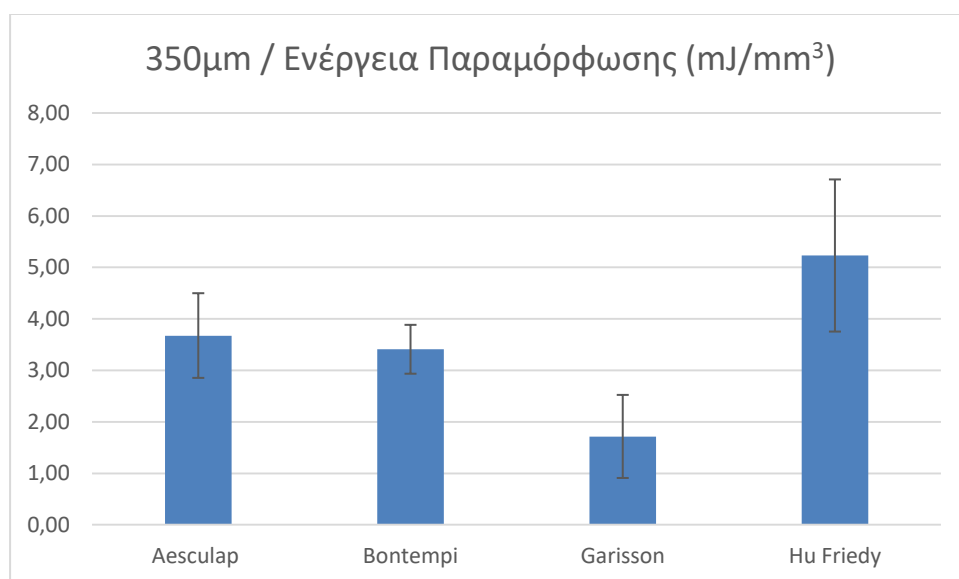
Για τις παραμέτρους με μη ομαλή κατανομή, χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία Kruskal-Wallis για τον έλεγχο των κατανομών με σύγκριση ανά ζεύγη καθώς επίσης και η δοκιμασία ελέγχου των διαμέσων ανεξαρτήτων δειγμάτων με αντίστοιχη σύγκριση ανά ζεύγη.

Ως επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε $\alpha=0,05$.

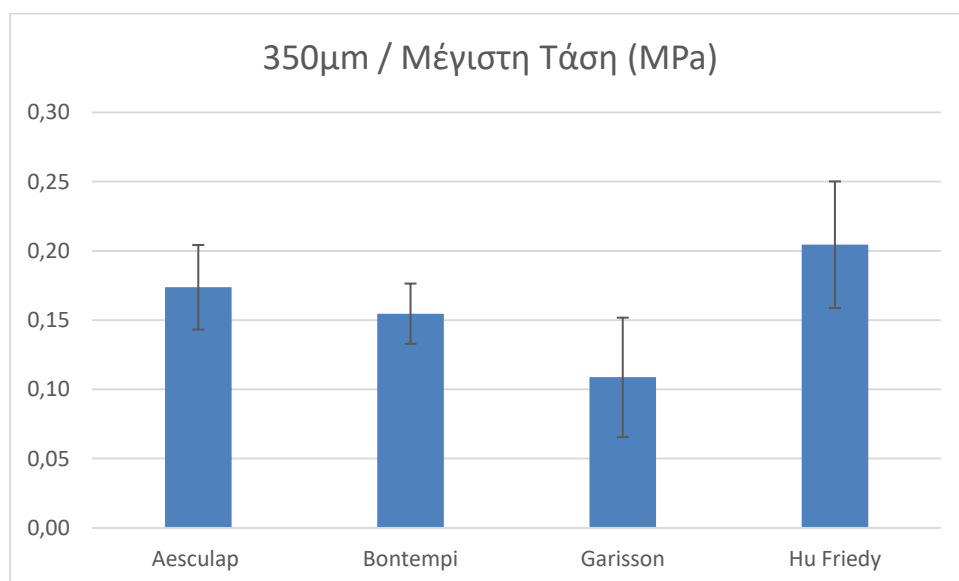
Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα SPSS v.28.

4. Αποτελέσματα

Στα ραβδογράμματα που ακολουθούν (Εικόνα 11 και Εικόνα 12), φαίνονται η ενέργεια παραμόρφωσης και η μέγιστη τάση για όλα τα εργαλεία σε βάθος 350μm, ενώ στον Πίνακα 3 αντιστοίχως η στατιστική τους σημαντικότητα.



Εικόνα 11. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης στα 350μm

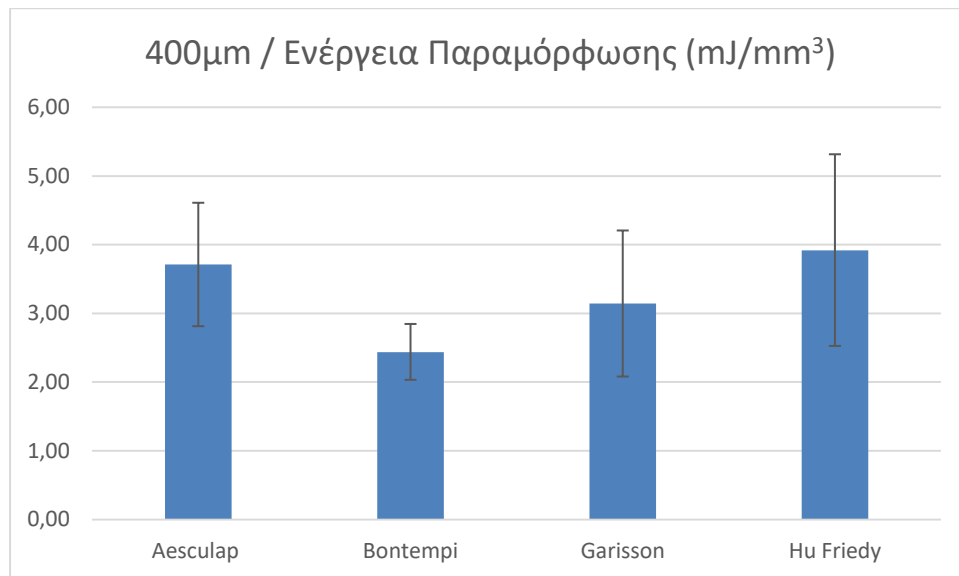


Εικόνα 12. Η Μέγιστη Τάση στα 350μm.

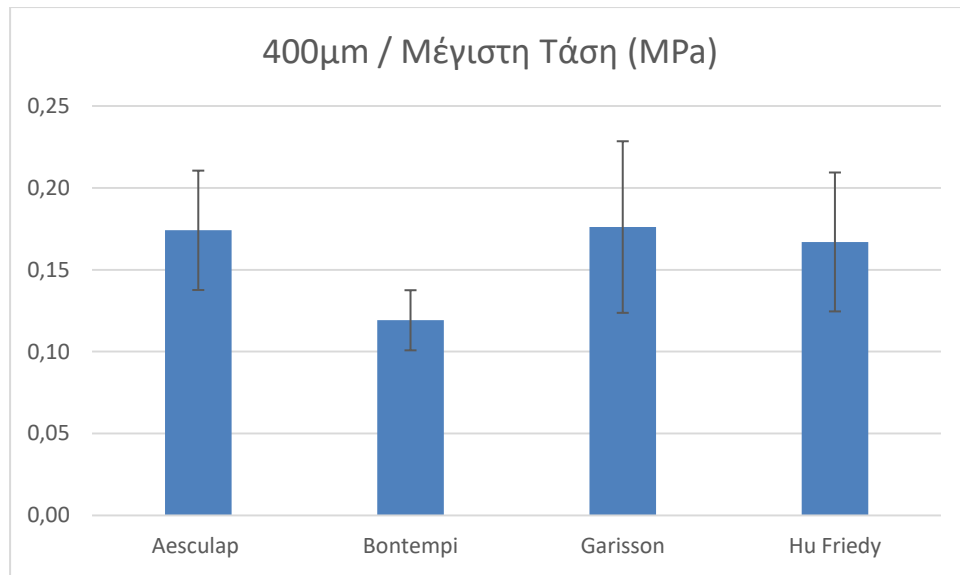
350μm	Aesculap	Bontempi	Garrison	Hu Friedy
Ενέργεια παραμόρφωσης±sd (mJ/mm ³)	3,68±0,82 ^a	3,41±0,47 ^a	1,71±0,81 ^b	5,23±1,48 ^c
Μέγιστη Τάση±sd (MPa)	0,17±0,03 ^{ac}	0,15±0,02 ^a	0,11±0,04 ^b	0,20±0,05 ^c

Πίνακας 3.Η Ενέργεια Παραμόρφωσης και η Μέγιστη Τάση στα 350μm.

Στα ραβδογράμματα της Εικόνας 13 και Εικόνας 14, φαίνονται η ενέργεια παραμόρφωσης και η μέγιστη τάση για όλα τα εργαλεία σε βάθος 400μm, ενώ στον Πίνακα 4 αντιστοίχως η στατιστική τους σημαντικότητα.



Εικόνα 13. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης στα 400μm.

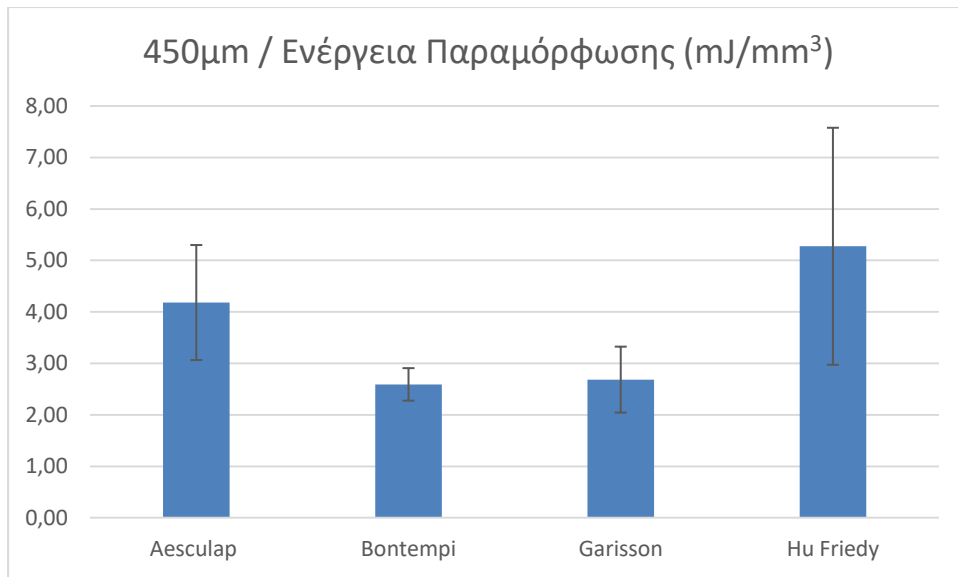


Εικόνα 14. Η Μέγιστη Τάση στα 400μm.

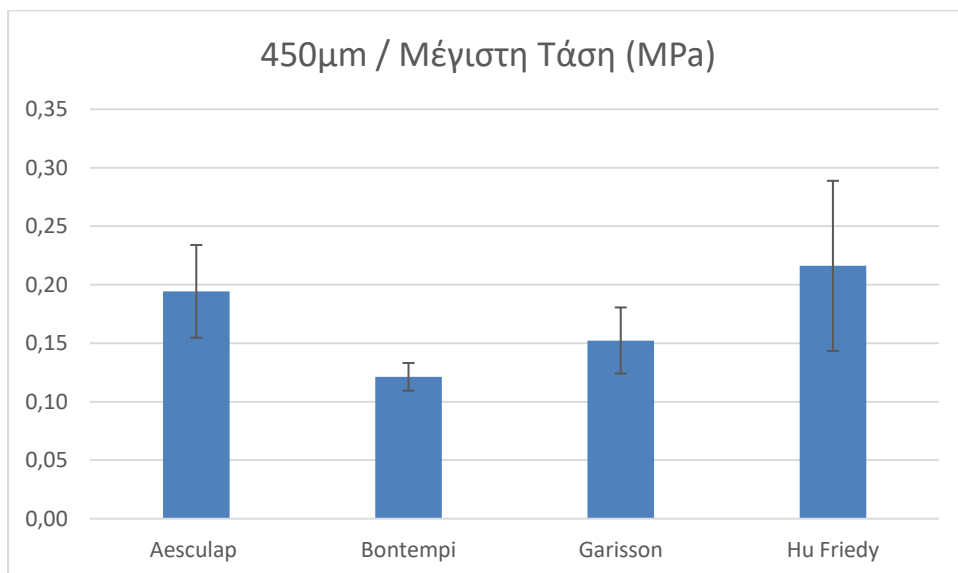
400μm	Aesculap	Bontempi	Garisson	Hu Friedy
Ενέργεια παραμόρφωσης±sd (mJ/mm ³)	3,71±0,90 ^a	2,44±0,41 ^b	3,14±1,06 ^{ab}	3,92±1,39 ^a
Μέγιστη Τάση±sd (MPa)	0,17±0,04 ^a	0,12±0,02 ^b	0,18±0,05 ^a	0,17±0,04 ^a

Πίνακας 4. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης και η Μέγιστη Τάση στα 400μm.

Στα ραβδογράμματα στην Εικόνα 15 και Εικόνα 16, φαίνονται η ενέργεια παραμόρφωσης και η μέγιστη τάση για όλα τα εργαλεία σε βάθος 450μm, ενώ στον Πίνακα 5 αντιστοίχως η στατιστική τους σημαντικότητα.



Εικόνα 15. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης στα 450μm.

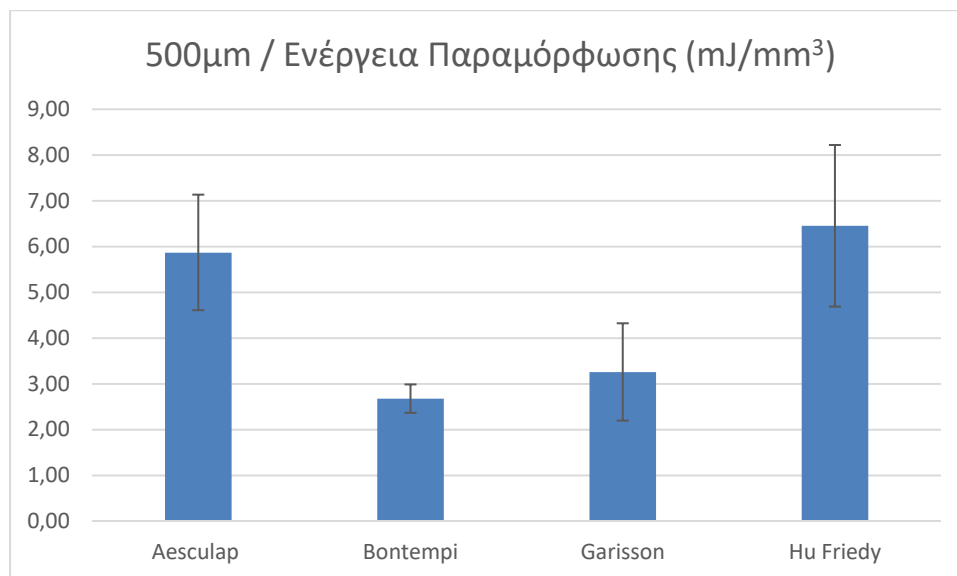


Εικόνα 16. Η Μέγιστη Τάση στα 450μm.

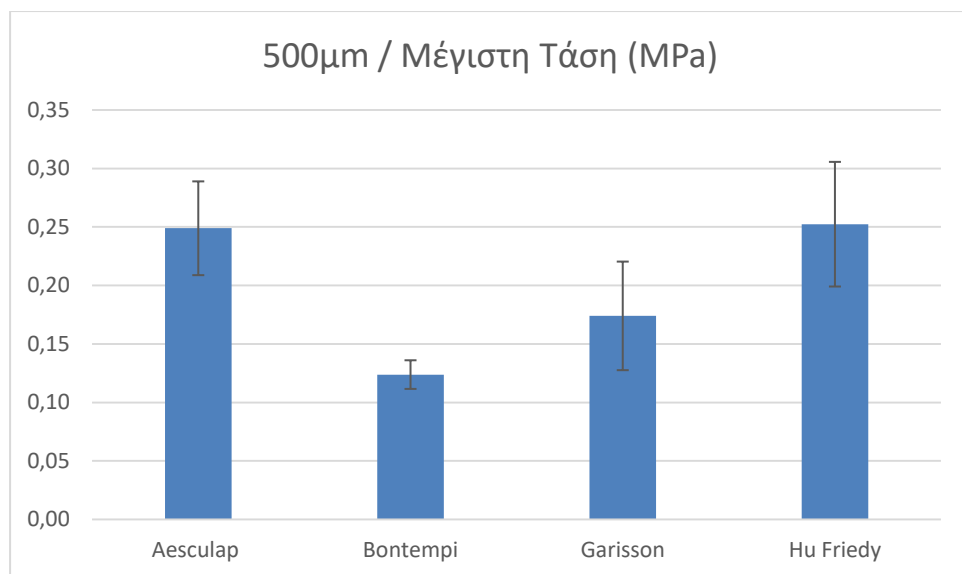
450μm	Aesculap	Bontempi	Garrison	Hu Friedy
Ενέργεια παραμόρφωσης±sd (mJ/mm ³)	4,18±1,12 ^a	2,59±0,32 ^b	2,68±0,64 ^{bc}	5,28±2,30 ^{ac}
Μέγιστη Τάση±sd (MPa)	0,19±0,04 ^a	0,12±0,01 ^b	0,15±0,03 ^a	0,22±0,07 ^a

Πίνακας 5. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης και η Μέγιστη Τάση στα 450μm.

Στα ραβδογράμματα στην Εικόνα 17 και Εικόνα 18, φαίνονται η ενέργεια παραμόρφωσης και η μέγιστη τάση για όλα τα εργαλεία σε βάθος 500μm, ενώ στον Πίνακα 6 αντιστοίχως η στατιστική τους σημαντικότητα.



Εικόνα 17. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης στα 500μm.

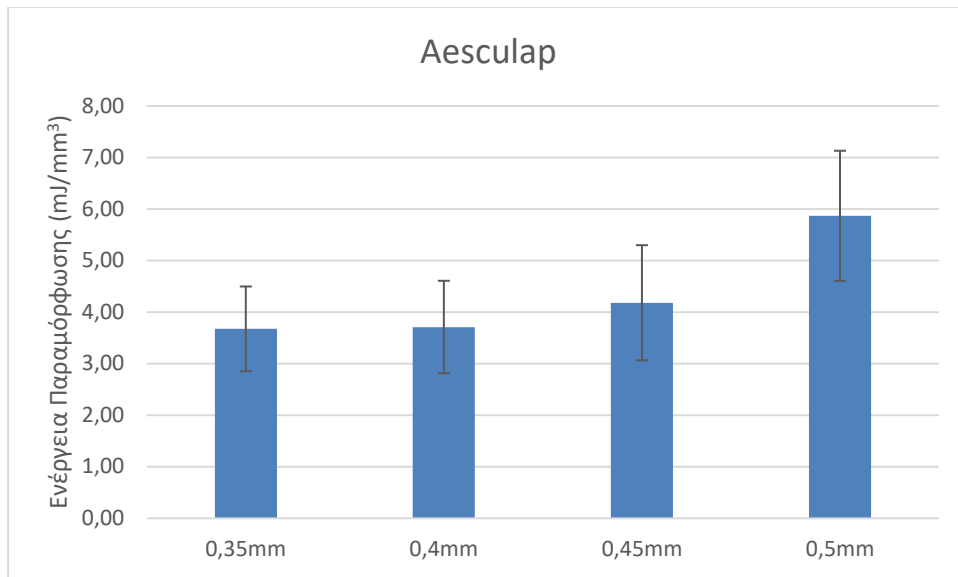


Εικόνα 18. Η Μέγιστη Τάση στα 500μm.

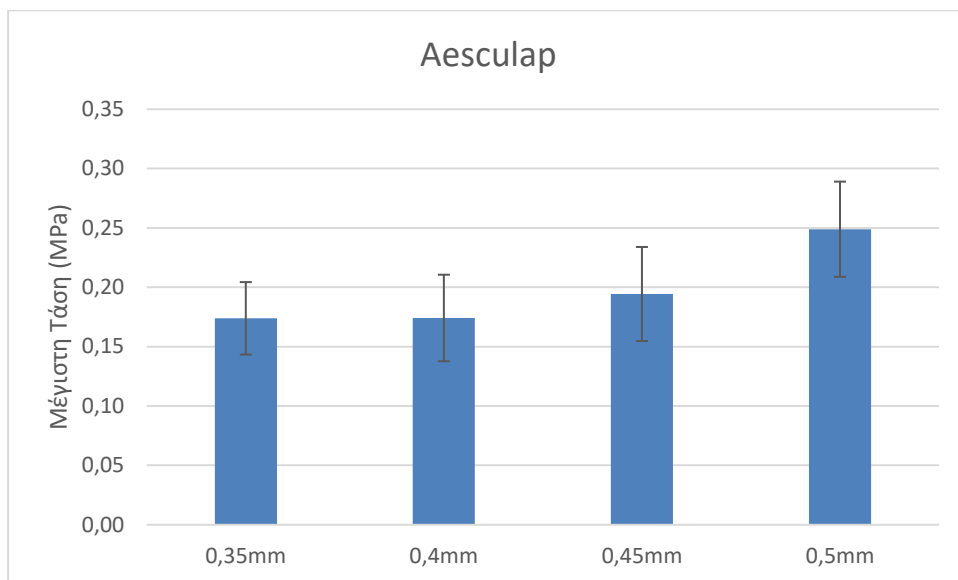
500μm	Aesculap	Bontempi	Garisson	Hu Friedy
Ενέργεια παραμόρφωσης±sd (mJ/mm ³)	5,87±1,26 ^a	2,67±0,31 ^b	3,26±1,06 ^b	6,45±1,77 ^a
Μέγιστη Τάση±sd (MPa)	0,25±0,04 ^a	0,12±0,01 ^b	0,17±0,05 ^c	0,25±0,05 ^a

Πίνακας 6. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης και η Μέγιστη Τάση στα 500μm.

Στα ραβδογράμματα στην Εικόνα 19 και Εικόνα 20, φαίνονται η ενέργεια παραμόρφωσης και η μέγιστη τάση για το εργαλείο Aescular σε όλα τα βάθη, ενώ στον Πίνακα 7 αντιστοίχως η στατιστική τους σημαντικότητα.



Εικόνα 1911. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης για το εργαλείο Aesculap σε όλα τα βάθη.

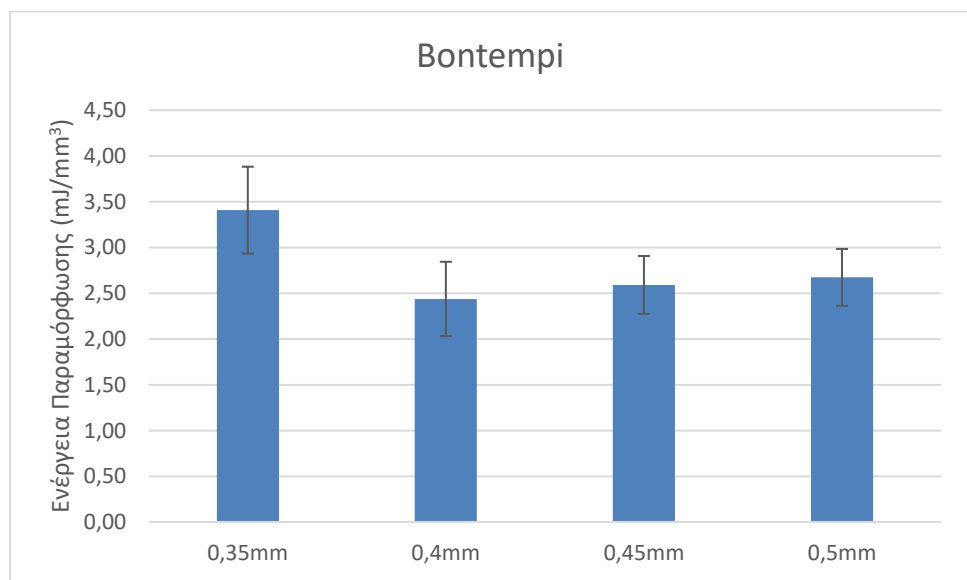


Εικόνα 2012. Η Μέγιστη Τάση για το εργαλείο Aesculap σε όλα τα βάθη.

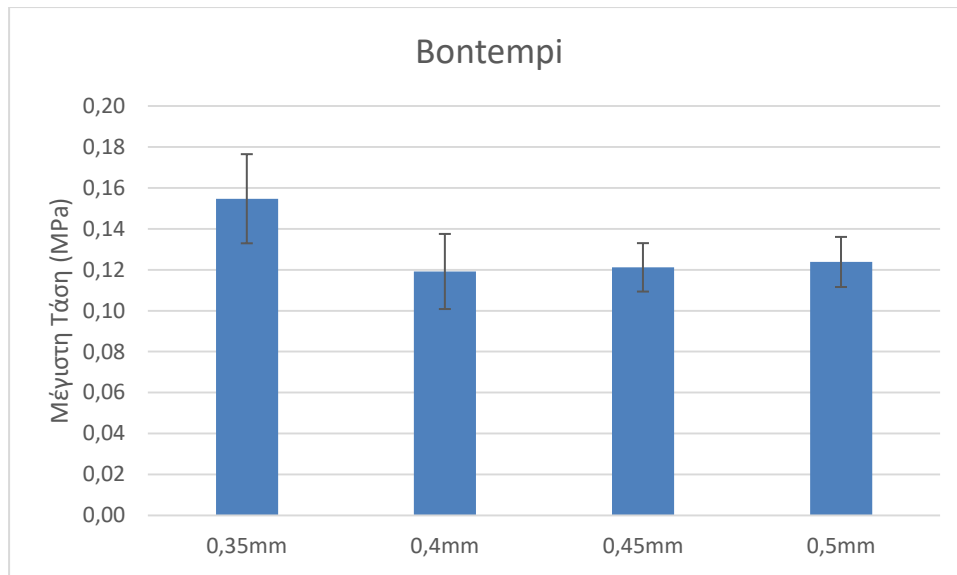
Aesculap	350μm	400μm	450μm	500μm
Ενέργεια παραμόρφωσης±sd (mJ/mm ³)	3,68±0,82 ^a	3,71±0,90 ^a	4,18±1,12 ^a	5,87±1,26 ^b
Μέγιστη Τάση±sd (MPa)	0,17±0,03 ^a	0,17±0,04 ^a	0,19±0,04 ^a	0,25±0,04 ^b

Πίνακας 7. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης και η Μέγιστη Τάση για το εργαλείο Aesculap σε όλα τα βάθη.

Στα ραβδογράμματα στην Εικόνα 21 και Εικόνα 22, φαίνονται η ενέργεια παραμόρφωσης και η μέγιστη τάση για το εργαλείο Bontempi σε όλα τα βάθη, ενώ στον Πίνακα 8 αντιστοίχως η στατιστική τους σημαντικότητα.



Εικόνα 2113. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης για το εργαλείο Bontempi σε όλα τα βάθη.

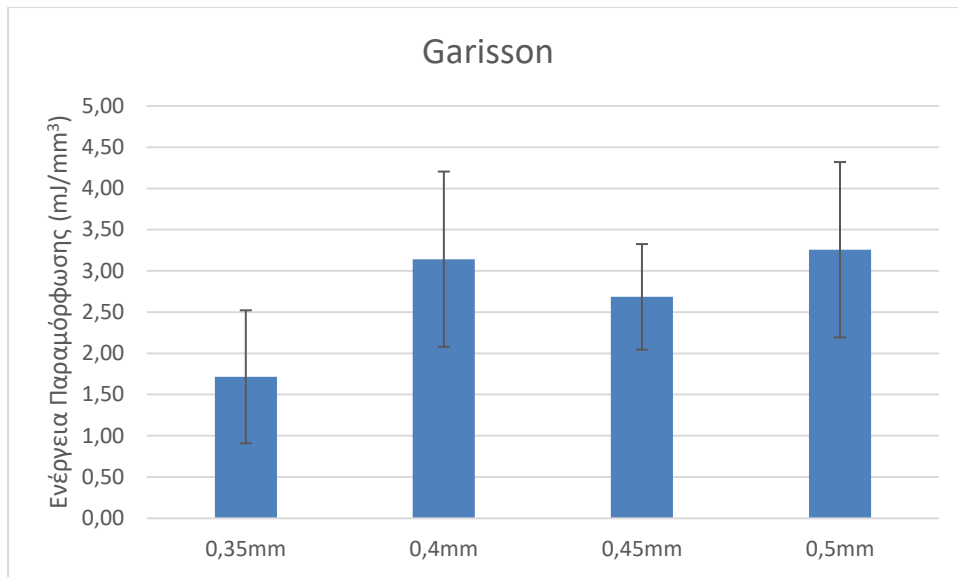


Εικόνα 142. Η Μέγιστη Τάση για το εργαλείο Bontempi σε όλα τα βάθη.

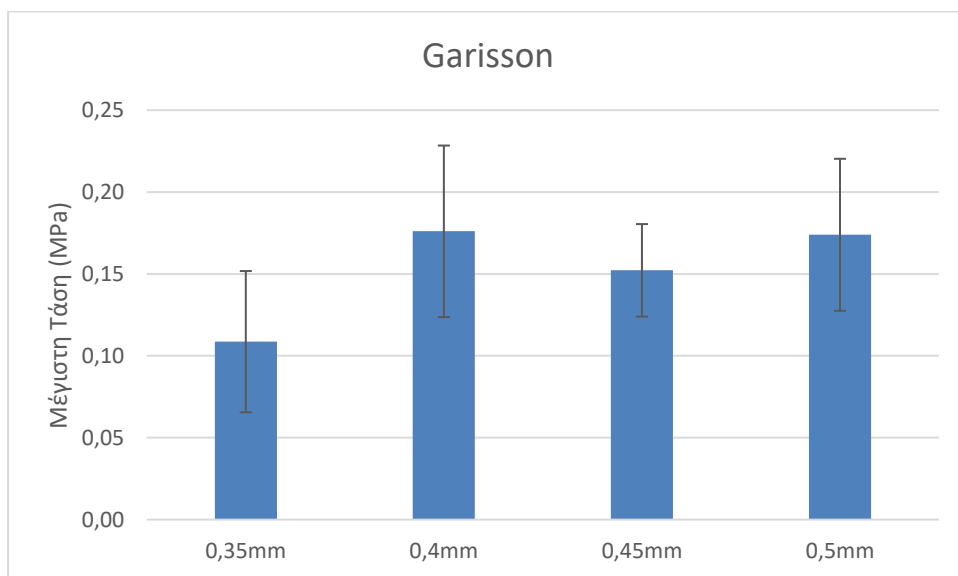
Bontempi	350μm	400μm	450μm	500μm
Ενέργεια παραμόρφωσης±sd (mJ/mm ³)	3,41±0,47 ^a	2,44±0,41 ^b	2,59±0,32 ^b	2,67±0,31 ^b
Μέγιστη Τάση±sd (MPa)	0,15±0,02 ^a	0,12±0,02 ^b	0,12±0,01 ^b	0,12±0,01 ^b

Πίνακας 8. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης και η Μέγιστη Τάση για το εργαλείο Bontempi σε όλα τα βάθη.

Στα ραβδογράμματα στην Εικόνα 23 και Εικόνα 24, φαίνονται η ενέργεια παραμόρφωσης και η μέγιστη τάση για το εργαλείο Garisson σε όλα τα βάθη, ενώ στον Πίνακα 9 αντιστοίχως η στατιστική τους σημαντικότητα.



Εικόνα 23. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης για το εργαλείο Garrison σε όλα τα βάθη.

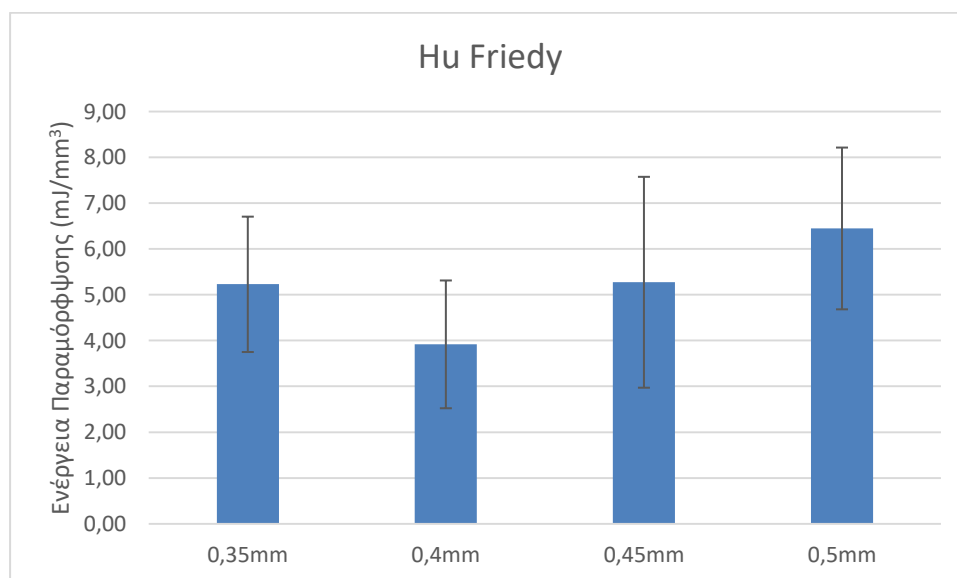


Εικόνα 24. Η Μέγιστη Τάση για το εργαλείο Garrison σε όλα τα βάθη.

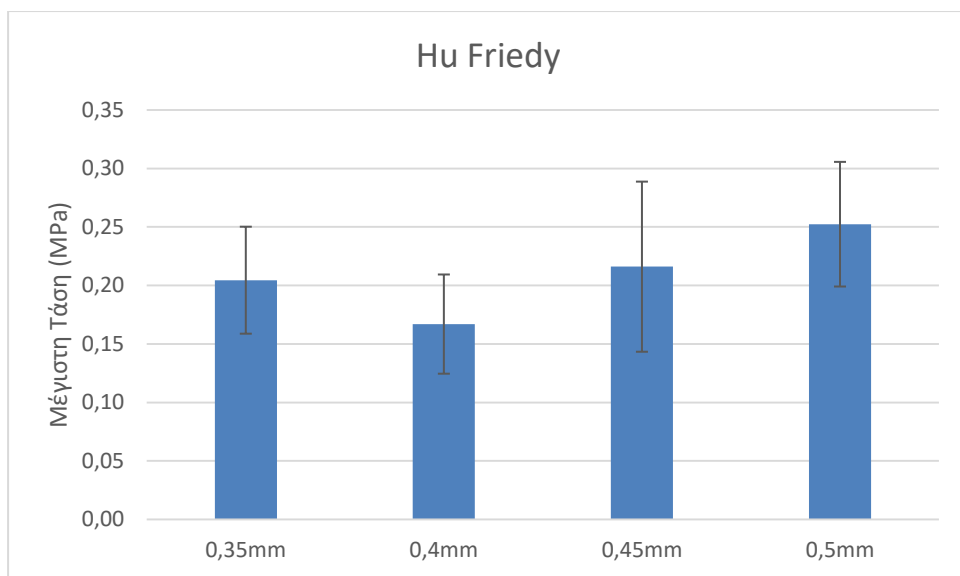
Garrison	350μm	400μm	450μm	500μm
Ενέργεια παραμόρφωσης±sd (mJ/mm ³)	1,71±0,81 ^a	3,14±1,06 ^b	2,68±0,64 ^b	3,26±1,06 ^b
Μέγιστη Τάση±sd (MPa)	0,11±0,04 ^a	0,18±0,05 ^b	0,15±0,03 ^b	0,17±0,05 ^b

Πίνακας 9. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης και η Μέγιστη Τάση για το εργαλείο Garrison σε όλα τα βάθη.

Στα ραβδογράμματα στην Εικόνα 25 και Εικόνα 26, φαίνονται η ενέργεια παραμόρφωσης και η μέγιστη τάση για το εργαλείο Hu Friedy σε όλα τα βάθη, ενώ στον Πίνακα 10 αντιστοίχως η στατιστική τους σημαντικότητα.



Εικόνα 15. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης για το εργαλείο Hu- Friedy σε όλα τα βάθη.



Εικόνα 2616. Η Μέγιστη Τάση για το εργαλείο Hu- Friedy σε όλα τα βάθη.

Hu Friedy	350μm	400μm	450μm	500μm
Ενέργεια παραμόρφωσης±sd (mJ/mm ³)	5,23±1,48 ^{ac}	3,92±1,39 ^a	5,28±2,30 ^{ac}	6,45±1,77 ^c
Μέγιστη Τάση±sd (MPa)	0,20±0,05 ^{ac}	0,17±0,04 ^a	0,22±0,07 ^{ac}	0,25±0,05 ^c

Πίνακας 10. Η Ενέργεια Παραμόρφωσης και η Μέγιστη Τάση για το εργαλείο Hu- Friedy σε όλα τα βάθη.

5. Συζήτηση

Σε αντιδιαστολή με τη μελέτη της προσκόλλησης ενός στυλεού συγκεκριμένου κράματος σε περισσότερες σύνθετες ρητίνες, η παρούσα εργασία, διερεύνησε την προσκόλληση περισσότερων εργαλείων σύνθετης ρητίνης, διαφορετικών κραμάτων, σε μια συγκεκριμένη σύνθεση σύνθετης ρητίνης, ώστε να προσδιοριστούν πιθανές διαφορές που οφείλονται στη σύνθεση των εργαλείων. Χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία από ανοξείδωτο χάλυβα, ανοδιωμένο αλουμίνιο, νιτρίδιο του τιτανίου και επικάλυψη με χρυσό.

Η σύνθετη ρητίνη που επιλέχθηκε ήταν μια νανοϋβριδική ρητίνη, με ένδειξη χρήσης τόσο σε πρόσθιες όσο και σε οπίσθιες αποκαταστάσεις. Η μία και μοναδική σύνθεση της σύνθετης ρητίνης στη συγκεκριμένη μελέτη απάλειψε τους παράγοντες που μπορεί να οφείλονταν στη σύνθετη ρητίνη και να επηρέαζαν την προσκόλληση των εργαλείων. Τέτοιοι θα μπορούσαν να είναι τα διαφορετικά μονομερή ή τα διαφορετικά είδη και η κ.ο ποσόστωση των ενισχυτικών ουσιών, που εμμέσως, λόγω των μεταβολών στο ιξώδες της ρητίνης, θα μπορούσαν να επηρεάσουν και την προσκόλληση των εργαλείων (Kaleem M, 2011; Loumprinis N., 2021).

Η δοκιμασία που επιλέχθηκε ήταν μια μηχανική δοκιμασία εμβύθισης και απόσυρσης των εργαλείων στη μάζα της σύνθετης ρητίνης και καταγραφή των δεδομένων της αναπτυσσόμενης δύναμης και του βάθους εμβύθισης μέσω μια συσκευής που ονομάζεται “αναλυτής υφής” και έχει τη δυνατότητα καταγραφής πολύ μικρών δυνάμεων και μετατοπίσεων με μεγάλη ακρίβεια.

Η χρήση μιας βαριάς μήτρας από ανοξείδωτο χάλυβα, επελέγη ώστε να μην είναι δυνατή η μετακίνησή της κατά την πορεία αποκόλλησης των εργαλείων, ενώ το μέγεθός της αντιστοιχούσε σε μια

μέσου μεγέθους κοιλότητα κλινικά (Ertl K, 2010) (Khaldoon A. Al-Sharaa, 2003).

Η ταχύτητα εκτέλεσης της δοκιμασίας ορίστηκε στα 5mm/s, μια ταχύτητα που σε κλινικό επίπεδο θα αντιστοιχούσε σε γρήγορα “χτυπήματα” στη σύνθετη ρητίνη, μια συνήθη πρακτική για να αποφεύγεται η προσκόλληση των εργαλείων σε αυτή.

Η δοκιμασία και η καταγραφή δεδομένων ορίστηκε να γίνεται με βάση το βάθος διείσδυσης του εργαλείου στη σύνθετη ρητίνη. Ως αρχή συλλογής δεδομένων ορίστηκε με την καταγραφή δύναμης 0,01N, ένδειξη πως το εργαλείο έχει έρθει σε επαφή με τη ρητίνη. Η καταγραφή ήταν επιθυμητό να γίνει στο ελάχιστο δυνατό βάθος, ώστε η σύνθετη ρητίνη να ακουμπά μόνο στην κάτω επιφάνεια των εργαλείων και όχι τις πλαϊνές. Αυτό εξασφάλιζε την ανάπτυξη μόνο εφελκυστικών δυνάμεων στα δοκίμια κατά την απόσυρση των εργαλείων και όχι συνδυασμό εφελκυστικών και διατμητικών δυνάμεων ή και περιπλοκή με φαινόμενα τριβής από πιθανή προσκόλληση και των πλαϊνών επιφανειών των εργαλείων στη σύνθετη ρητίνη. Το ελάχιστο βάθος των 350μm που επιλέχθηκε, ήταν αυτό που η ευαισθησία του αναλυτή υφής επέτρεπε την αξιόπιστη καταγραφή αναπτυσσόμενης δύναμης και δημιουργίας έγκυρων διαγραμμάτων Δύναμης – Μετατόπισης. Το βάθος αυτό, εξασφάλιζε επίσης την επαφή όλης της επιφάνειας του εργαλείου με τη ρητίνη. Το μέγιστο βάθος καθορίστηκε στα 500μm, που θεωρήθηκε ένα όριο προτού να επιτρέπεται στη ρητίνη να προσκολληθεί και στις πλαϊνές επιφάνειες των εργαλείων. Η κλιμακωτή καταγραφή ανά 50μm, δηλαδή και στα 400μm και στα 450μm διείσδυσης, έγινε για να διερευνηθεί η πιθανότητα ανεύρεσης ενδιάμεσων σημαντικών διαφορών.

Στις εργασίες που εξετάζεται η προσκόλληση ενός μεταλλικού στυλεού συγκεκριμένης σύνθεσης, σε περισσότερες από μια συνθέσεις συνθέτων ρητινών, το Έργο που καταγράφεται κατά την απομάκρυνση

του στυλεού από τη ρητίνη, θεωρείται πιο αξιόπιστος δείκτης για τη μέτρηση της προσκόλλησης από τη Μέγιστη Δύναμη, καθώς είναι πιο ευαίσθητο στην επιμήκυνση του υλικού, ενώ συνδυάζει την ενέργεια που είναι απαραίτητη για τον διαχωρισμό της ρητίνης από το υπόστρωμα και τη συνοχή της ρητίνης, η οποία μπορεί να εξαρτάται από τη διαμοριακή συνοχή (Loumprinis N., 2021) (Yang J, 2019) (Kaleem M, 2011). Η Μέγιστη Δύναμη εξαρτάται από τη διαβροχή, την αντίσταση κατά την αποκόλληση, την αδρότητα του υλικού και του εργαλείου, την παρουσία φυσαλίδων, την ταχύτητα απομάκρυνσης, την αντοχή στον εφελκυσμό και την ελαστικότητα της απολυμέριστης σύνθετης ρητίνης (Kaleem M, 2009).

Στις μελέτες μέτρησης της προσκόλλησης μέσω του Έργου, ο στυλεός έχει συγκεκριμένη διάμετρο και σύνθεση, επομένως από το διάγραμμα Δύναμης-Μετατόπισης προκύπτει το Έργο (Kaleem M, 2009) (Kaleem M, 2011). Στην παρούσα μελέτη, καθώς τα εργαλεία είχαν διαφορετική διάμετρο, ήταν απαραίτητη η αναγωγή της μετρούμενης Δύναμης σε Τάση, διαιρώντας με το εμβαδό κάθε εργαλείου και η αναγωγή της Μετατόπισης σε Παραμόρφωση, υπολογίζοντας την επιμήκυνση της σύνθετης ρητίνης ως προς το αρχικό της μήκος. Το εμβαδό που προκύπτει κάτω από την καμπύλη, μέχρι τον άξονα χ , στο διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης, δίνει την Ενέργεια Παραμόρφωσης.

Όταν ένα υλικό παραμορφώνεται από εξωτερικά φορτία, τείνει να απορροφά ενέργεια εσωτερικά σε όλο του τον όγκο. Επειδή η ενέργεια αυτή συνδέεται με την παραμόρφωση του υλικού ονομάζεται Ενέργεια Παραμόρφωσης. Το Έργο αποτελεί γινόμενο της δύναμης επί τη μετακίνηση κατά τη διεύθυνση της δύναμης, και αυτό το “εξωτερικό Έργο” ισοδυναμεί με το “εσωτερικό Έργο” ή Ενέργεια Παραμόρφωσης που αποθηκεύεται στο υλικό, με την παραδοχή πως δεν υπάρχει απώλεια ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας (Al-Ahdal K, 2014).

Στην παρούσα μελέτη, τα εργαλεία διαφορετικής σύνθεσης επέδειξαν διαφορετικό βαθμό προσκόλλησης, στη σύνθετη ρητίνη για κάθε ορισμένο βάθος διείσδυσης, αλλά και το ίδιο εργαλείο στα διαφορετικά βάθη, εκφραζόμενη πρωτίστως από την Ενέργεια Παραμόρφωσης και δευτερευόντως από τη Μέγιστη Τάση. Επομένως οι μηδενικές υποθέσεις απορρίπτονται.

Η μικρότερη Ενέργεια Παραμόρφωσης και η μικρότερη Μέγιστη Τάση, επομένως η μικρότερη προσκόλληση, καταγράφηκε στα 350μm για το εργαλείο Garisson (TiN) με τιμές 1,71mJ/mm³ και 0,11MPa αντίστοιχα, που διέφερε σε στατιστικά σημαντικό βαθμό από τα άλλα εργαλεία.

Για τα βάθη 400μm, 450μm και 500μm το εργαλείο Bontempi (ανοδιωμένο αλουμίνιο) εμφάνισε την μικρότερη Ενέργεια Παραμόρφωσης σε στατιστικά σημαντικό βαθμό ως προς τα εργαλεία Aescular (επικάλυψη χρυσού) και Hu-Friedy (ανοξειδωτος χάλυβας) αλλά όχι ως προς το εργαλείο Garisson (TiN). Παρομοίως για τα προαναφερθέντα βάθη το εργαλείο Bontempi (ανοδιωμένο αλουμίνιο) εμφάνισε και τη μικρότερη Μέγιστη Τάση σε στατιστικά σημαντικό βαθμό.

Αντιστρόφως, τη μεγαλύτερη Ενέργεια Παραμόρφωσης και Μέγιστη Τάση, επομένως και τη μεγαλύτερη προσκόλληση, εμφάνισε το εργαλείο Hu-Friedy (ανοξειδωτος χάλυβας) με τιμές 6,45mJ/mm³ και 0,25MPa αντίστοιχα, στα 500μm, σε στατιστικά σημαντικό βαθμό σε σύγκριση με το Bontempi (ανοδιωμένο αλουμίνιο) και το Garisson (TiN) αλλά όχι με το εργαλείο Aescular (επικάλυψη χρυσού), που παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα, ενώ και στα 350μm εμφάνισε σε στατιστικά σημαντικό βαθμό μεγαλύτερη Ενέργεια Παραμόρφωσης και μεγαλύτερη Μέγιστη Τάση από τα υπόλοιπα εργαλεία.

Για τα βάθη 400 μm και 450 μm τα εργαλεία Hu-Friedy (ανοξειδωτος χάλυβας) και Aescular (επικάλυψη χρυσού) παρουσίασαν παρόμοια αποτελέσματα για την Ενέργεια Παραμόρφωσης και τη Μέγιστη Τάση.

Εξετάζοντας κάθε εργαλείο ξεχωριστά παρατηρήθηκε μια ομαλή αύξηση της Ενέργειας Παραμόρφωσης και της Μέγιστης Τάσης σε συνάρτηση με την αύξηση του βάθους εμβύθισης, με εξαίρεση το εργαλείο Bontempi (ανοδιωμένο αλουμίνιο) με τις εξεταζόμενες τιμές να είναι μεγαλύτερες στο μικρότερο βάθος εμβύθισης των 350 μm .

Η επιφανειακή ελεύθερη ενέργεια (γ) κάθε μεταλλικού στοιχείου, είναι και ενδεικτική της τάσης του στοιχείου αυτού να συνδέεται με άλλα. Γενικά, μια επιφάνεια με χαμηλή επιφανειακή ενέργεια θα δημιουργήσει μεγάλη γωνία επαφής, κακή διαβροχή και ως εκ τούτου δεν είναι ικανή να σχηματίσει ισχυρούς δεσμούς. Το αντίθετο ισχύει για μια επιφάνεια με υψηλή επιφανειακή ενέργεια, η οποία θα προκαλέσει γενικά μικρή γωνία επαφής και καλή διαβροχή (L. Vitos, 1998). Στην καθαρή μορφή τους, τα μέταλλα τα οποία αποτελούν τη βάση κατασκευής των εξετασθέντων εργαλείων συνθέτων ρητινών, παρουσιάζουν την ακόλουθη επιφανειακή ενέργεια: αλουμίνιο 0,82J/m², χρυσός 0.86-1.48J/m², τιτάνιο 1.97J/m² και σίδηρος 2.1-2,50J/m² (Lee, 2018). Οι συνθέσεις όμως των εργαλείων δεν αφορούν σε καθαρά μέταλλα αλλά σε κράματα μετάλλων που μπορεί και να διαφέρουν ως προς την επιφανειακή ενέργεια των καθαρών τους μορφών. Ενδεικτικά ένα TiN μπορεί να έχει επιφανειακή ενέργεια περίπου 2J/m² ενώ ο ανοξειδωτος χάλυβας από 0,7-1,1J/m². Ένας παράγοντας λοιπόν που μπορεί να συμβάλλει στη διαμόρφωση των αποτελεσμάτων προσκόλλησης στην παρούσα εργασία μπορεί να είναι η επιφανειακή ενέργεια των εργαλείων.

Μία άλλη παράμετρος που θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη είναι ο παράγοντας της αδρότητας των εργαλείων. Η αύξηση της μικρο-

αδρότητας των εργαλείων, αυξάνει την επιφάνεια επαφής με το υλικό και συνεπώς θα μπορούσε να επηρεάζει τα φαινόμενα προσκόλλησης. Παράμετροι αδρότητας όπως το Sdr που προσδιορίζει την έκταση της πραγματικής επιφάνειας σε σχέση με την προβαλλόμενη επιφάνεια, αλλά και το Sc που προσδιορίζει τη δυνατότητα συγκράτησης ενός υγρού σε μια επιφάνεια, θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην προσκόλληση της ρητίνης στα εργαλεία, επιπλέον του υλικού κατασκευής.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με άλλες παρεμφερείς που μελετούν την προσκόλληση των ρητινών, δεν μπορεί να είναι άμεση λόγω διαφοράς στη μεθοδολογία και στις εξεταζόμενες παραμέτρους. Η ανάλυση των δεδομένων της παρούσας εργασίας, με τα συγκεκριμένα εργαλεία, υλικά και βάθη διεϊσδυσης, δε δείχνουν σε καμία περίπτωση τόσο ισχυρή προσκόλληση, που η ρητίνη να συμπαρασύρεται από το εργαλείο έξω και πέρα από τα όρια της αρχικής της τοποθέτησης, σε αντίθεση με άλλες δημοσιευμένες μελέτες.

Στην κλινική πράξη, η πίεση κατά την τοποθέτηση της σύνθετης ρητίνης σε μια κοιλότητα δοντιού, είναι πολύ μεγαλύτερη σε μέγεθος και η διεϊσδυση του εργαλείου επίσης πολύ μεγαλύτερη στη μάζα της ρητίνης, σε σχέση με τα πειραματικά δεδομένα της παρούσας εργασίας, προκρινόμενου να μην παραμείνουν κενοί χώροι μεταξύ υλικού και κοιλότητας. Η εφαρμογή πειραματικών συνθηκών πιο κοντά στην κλινική πράξη θα περιέπλεκε κατά πολύ την ανάλυση των δεδομένων, όπως έχει ήδη εξηγηθεί και θα καθιστούσε αδύνατη την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την επίδραση του υλικού κατασκευής των εργαλείων στην προσκόλληση στη σύνθετη ρητίνη. Είναι δεδομένη κάποιες φορές η διαφορά των εργαστηριακών συνθηκών τέλεσης ενός πειράματος και των κλινικών συνθηκών, αλλά αναγκαία για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Σε επόμενο στάδιο, συμπληρωματικά με τα δεδομένα που προέκυψαν από τη συγκεκριμένη μελέτη, θα μπορούσε να μελετηθεί η πιθανή επίδραση της μικρο-αδρότητας των εργαλείων στην προσκόλληση στη σύνθετη ρητίνη ή ακόμα και πιθανή συσχέτιση του υλικού ή/και της τεχνικής κατασκευής του εργαλείου με τη μικρο-αδρότητά του. Επίσης, με την προϋπόθεση της δυνατότητας προσδιορισμού του ιξώδους κάποιων επιπλέον συνθέτων ρητινών, είτε μέσου είτε υψηλού ιξώδους, να γίνει συσχέτιση της προσκόλλησης των εργαλείων συνθέτων ρητινών με το ιξώδες αυτών. Τέλος θα μπορούσαν να δοκιμαστούν τα εργαλεία αυτά μετά από κάποιους κύκλους αποστείρωσης για την πιθανότητα φθορών, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν αυξημένη προσκόλληση των συνθέτων ρητινών σε αυτά.

6. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτή τη μελέτη είναι:

- Τα εργαλεία ανοξειδωτου χάλυβα και με επικάλυψη χρυσού παρουσίασαν αυξημένη προσκόλληση, ενώ τα εργαλεία από ανοδιωμένο αλουμίνιο και νιτρίδιο του τιτανίου παρουσίασαν μικρότερη προσκόλληση στο υλικό
- Αυξάνοντας το βάθος εμβύθισης παρατηρήθηκε αύξηση της προσκόλλησης

Περίληψη

Σκοπός: Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο κλινικός είναι η προσκόλληση του υλικού κατά την απομάκρυνση του εργαλείου έχοντας ως αποτέλεσμα τη δυσκολία στη διαμόρφωση, την πιθανότητα δημιουργίας μικροκενών μεταξύ δοντιού και υλικού ή μεταξύ στρωμάτων υλικού και τέλος την παραμονή υλικού πάνω στο εργαλείο. Στον εμπόριο διατίθενται εργαλεία από κράματα μετάλλων προς αποφυγή προσκόλλησης της ρητίνης στο υλικό. Στην παρούσα εργαστηριακή μελέτη εξετάζεται αν οι επικαλύψεις των εργαλείων μειώνουν την προσκόλληση του υλικού.

Υλικά και μέθοδος: Τέσσερα εργαλεία διαμόρφωσης ρητινών με επικάλυψη από χρυσό, ανοδιωμένο αλουμίνιο, νιτρίδιο του τιτανίου και ανοξειδωτο χάλυβα εξετάστηκαν στα βάθη 350μm, 400μm 450μm και 500μm. Χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής TA.XT2i Texture Analyzer, (Stable Micro Systems, Godalming, United Kingdom) στο πάνω άκρο του οποίου και συγκολλήθηκαν σε ειδικά προσαρμοσμένους στυλεούς τα εργαλεία και έγιναν δεκαπέντε εμβυθίσεις ανά εργαλείο σε οπή με απολυμέριστη ρητίνη Clearfil Majesty ES-2 Universal Kuraray Europe, GmbH στα τεσσερα διαφορετικά βάθη. Εξετάστηκαν η Ενέργεια Παραμόρφωσης(mJ/mm^3) και η Μέγιστη Τάση(MPa). Για τις παραμέτρους με ομαλή κατανομή, χρησιμοποιήθηκε η δοκιμασία Anova ενώ για τις παραμέτρους με μη ομαλή κατανομή η δοκιμασία Kruskal-Wallis και ορίστηκε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $\alpha=0,05$.

Αποτελέσματα: Στην παρούσα μελέτη, τα εργαλεία διαφορετικής σύνθεσης επέδειξαν διαφορετικό βαθμό προσκόλλησης, στη σύνθετη ρητίνη για κάθε ορισμένο βάθος διεϊσδυσης, αλλά και το ίδιο εργαλείο στα διαφορετικά βάθη, επομένως οι μηδενικές υποθέσεις απορρίπτονται.

Η μικρότερη Ενέργεια Παραμόρφωσης και η μικρότερη Μέγιστη Τάση καταγράφηκε στα 350μm για το εργαλείο Garisson (TiN) με τιμές 1,71mJ/mm³ και 0,11MPa αντίστοιχα, που διέφερε σε στατιστικά σημαντικό βαθμό από τα άλλα εργαλεία.

Για τα βάθη 400μm, 450μm και 500μm το εργαλείο Bontempi (ανοδιωμένο αλουμίνιο) εμφάνισε την μικρότερη Ενέργεια Παραμόρφωσης σε στατιστικά σημαντικό βαθμό ως προς τα εργαλεία Aescular (επικάλυψη χρυσού) και Hu-Friedy (ανοξειδωτος χάλυβας) αλλά όχι ως προς το εργαλείο Garisson (TiN). Παρομοίως για τα προαναφερθέντα βάθη το εργαλείο Bontempi (ανοδιωμένο αλουμίνιο) εμφάνισε και τη μικρότερη Μέγιστη Τάση σε στατιστικά σημαντικό βαθμό.

Εξετάζοντας κάθε εργαλείο ξεχωριστά παρατηρήθηκε μια ομαλή αύξηση της Ενέργειας Παραμόρφωσης και της Μέγιστης Τάσης σε συνάρτηση με την αύξηση του βάθους εμβύθισης, με εξαίρεση το εργαλείο Bontempi (ανοδιωμένο αλουμίνιο) με τις εξεταζόμενες τιμές να είναι μεγαλύτερες στο μικρότερο βάθος εμβύθισης των 350μm.

Συμπεράσματα: Τα εργαλεία ανοξειδωτου χάλυβα και με επικάλυψη χρυσού παρουσίασαν αυξημένη προσκόλληση, ενώ τα εργαλεία από ανοδιωμένο αλουμίνιο και νιτρίδιο του τιτανίου παρουσίασαν μικρότερη προσκόλληση στο υλικό. Αυξάνοντας το βάθος εμβύθισης παρατηρήθηκε αύξηση της προσκόλλησης.

Summary

Objectives: Stickiness of the resin composite during the removal of the instrument is a daily problem for the clinician, resulting in difficulty in shaping, the possibility of creating microgaps between the tooth and material or between layers of material, and finally, material remaining on the tool. Commercially available composite instruments are coated with metal alloys to prevent the resin composite from adhering to them. In the present laboratory study, it is examined whether tool coatings reduce stickiness of the resin composite.

Materials and Method: Four composite instruments with gold, anodized aluminum, titanium nitride, and stainless steel coatings were tested at depths of 350 μ m, 400 μ m, 450 μ m, and 500 μ m. The texture analyzer TA.XT2i, (Stable Micro Systems, Godalming, United Kingdom) was used at the upper end of which the instruments were knitted to specially adapted rods and fifteen immersions per instrument were made in a mold full of Clearfil Majesty ES-2 Universal unpolymerized composite resin Kuraray Europe, GmbH in four different depths. Strain Energy (mJ/mm³) and Maximum Stress (MPa) were examined. For parameters with a normal distribution, the Anova test was used, while for parameters with a non normal distribution, the Kruskal-Wallis test was used and a statistical significance level of $\alpha=0.05$ was set.

Results: In the present study, instruments of different composition showed a different degree of stickiness to the resin composite for each given depth of penetration, but also the same tool at different depths, so the null hypotheses are rejected.

The lowest Strain Energy and the lowest Maximum Stress was recorded at 350 μ m for the Garisson instrument (TiN) with values of 1.71mJ/mm³ and 0.11MPa respectively, which differed in a statistically significant level from the other instruments.

For the depths of 400 μ m, 450 μ m and 500 μ m the Bontempi instrument (anodized aluminum) showed the lowest Strain Energy to a statistically significant level relative to the Aesculap (gold plated) and Hu-Friedy (stainless steel) instruments but not to the Garisson instrument (TiN). Similarly, for the above-mentioned depths, the Bontempi

instrument (anodized aluminum) showed the lowest Maximum Stress to a statistically significant level.

Examining each instrument separately, an increase in Strain Energy and Maximum Stress was observed as the depth of immersion increased, with the exception of the Bontempi instrument(anodized aluminum) with the values examined being greater at the lowest immersion depth of 350 μ m.

Conclusions: Stainless steel and gold-plated instruments showed increased stickiness, while anodized aluminum and titanium nitride tools showed less material stickiness. By increasing the immersion depth, an increase in stickiness was observed.

Πίνακας συντμήσεων

Bis-GMA	Bisphenol A glycerolate dimethacrylate
UDMA	Urethane dimethacrylate
TEGDMA	Triethylene glycol dimethacrylate
Bis-EMA	Bisphenol A ethoxylate dimethacrylate
Bis-PDMA	Bisphenol Propoxylated A glycerolate dimethacrylate
UEDMA	Diurethane dimethacrylate
TMX- UEDMA	Partially aromatic Diurethane dimethacrylate
MMA	Methyl Methacrylate
EGDMA	Ethylene glycol dimethacrylate
γ-MPTS	Mercaptopropyltrimethoxysilane
10-MDP	10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate
UDMS	Urethane Dimethacrylate Silane
OTMS	Octyltrimethoxysilane
CQ	Camphorquinone
SiO₂	Silicon dioxide
BHT	Butylated hydroxytoluene
PTA	Purified Terephthalic Acid
TiN	Titanium nitrate
TPO	Trimethylbenzoyl-diphenylphosphine oxide

Βιβλιογραφία

Al-Ahdal K, S. N. (2014). Rheological properties of resin composites according to variations in composition and temperature. *Dent Mater.* , May;30(5):517-24.

Alshali, N. S. (2013). Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. *Dent Mater* , 213-7.

Al-Sharaa KA, W. D. (2003). Stickiness prior to setting of some light cured resin-composites. *Dent Mater. May;19(3):182-7.* , May;19(3):182-7.

Aminoroaya. (2021). A review of dental composites: Challenges, chemistry aspects, filler influences, and future insights. *Composites Part B* .

Anusavice. (2003). *Phillips' Science of Dental Materials*. Philadelphia: W.B. SaundersCompany,.

Anusavice K., C. S. (2012). *Phillips' Science of Dental Materials*. p:280-281: Saunders.

Ashok NG, J. S. (2017). Factors that influence the color stability of composite restorations. *Int J Orofac Biol* , 1-3.

Atai M, W. D. (2006). *Dent Mater* , 22: 785–7.

Barcellos DC, P. C. (2008). Effects of resinous monomers used in restorative dental modeling on the cohesive strength of composite resin. *The journal of adhesive dentistry.* , 10(5):351-4.

Barnes HA, H. J. (1989). An introduction to rheology. . *Elsevier* .

Beun S, B. C. (2008). Rheological properties of flowable resin composites and pit and fissure sealants. *Dent Mater* , 24:548–55.

Caughman WF, C. R. (1984). Effects of diluents on physical properties of a light-cured composite Prisma-Fil. *Operative dentistry.* , 9(3):82-5.

Chuang, H. K. (1997). Avery Adhesive Test Yields More Performance Data Than Traditional Probe. *Adhesives Age* , 18-23.

Craig RG, P. J. (2002). *Restorative dental materials*. St.Louis: Mosby.

Daronch M, R. D. (2005). Monomer Conversion of Pre-heated Composite. *J Dent Res* , 84(7):663-667.

Daronch M, R. F. (2005). Monomer conversion of pre-heated composite. *J Dent Res.* , Jul;84(7):663-7.

Daronch M., R. F. (2006). Clinically relevant issues to preheating composites. *J Esthet Restor Dent* , 18:340–50.

Daronch M., R. F. (2006). Polymerization kinetics of pre-heated composite. . *J Dent Res* , 85:38–43.

Dickens S, S. J. (2003). *Macromolecules* , 36: 6043–6053.

Elbishari H. (2011). Satterthwaite JD, Silikas N. Effect of filler size and temperature on packing stress and viscosity of resin-composites. *Int J Mol Sci* , 12:5330–8.

Eliades GC, C. A. (1989). The strength of layering technique in visible light-cured composites. *The Journal of prosthetic dentistry.* , 61(1):31-8.

Ellakwa A, C. N. (2007). The effect of resin matrix composition on the polymerization shrinkage and rheological properties of experimental dental composites. *Dent Mater.* , Oct;23(10):1229-35.

Ertl K, G. A. (2010). Stickiness of dental resin composite materials to steel, dentin and bonded dentin. . *Dent Mater.* , Jan;26(1):59-66.

Ferracane JL, H. T. (2017). Academy of Dental Materials guidance-Resin composites: Part II-Technique sensitivity (handling, polymerization, dimensional changes). *Dent Mater.* , Nov;33(11):1171-1191.

Ferracane JL. (2011). Resin composite-State of the art. *Dent Mater* , 27; 29-38.

Floyd CJ, D. S. (2006). Network structure of Bis-GMA- and UDMA-based resin systems. . *Dent Mater* , 22: 1143–1149.

Genovese DB. (2012). Shear rheology of hard-sphere, dispersed, and aggregated suspensions, and filler-matrix composites. *Adv Colloid Interface Sci* , 171–172:1–16.

Habib E, W. R. (2018). Correlation of resin viscosity and monomer conversion to filler particle size in dental composites. *Dent Mater.* , Oct;34(10):1501-1508.

Hamouda. (2017). Effect of Instrument Lubricant on Water Sorption and Solubility of Incrementally Applied Nanofilled Resin Composite. *Nanotechnology: Nanomedicine & Nanobiotechnology* , 4(3):1-4.

Kaleem M, S. J. (2011). A method for assessing force/work parameters for stickiness of unset resin-composites. . *Dent Mater* . , Aug;27(8):805-10.

Kaleem M, S. J. (2009). Effect of filler particle size and morphology on force/work parameters for stickiness of unset resin-composites. . *Dent Mater* . , Dec;25(12):1585-92. .

Khaldoon A. Al-Sharaa, D. C. (2003). Stickiness prior to setting of some light cured resin-composites. *Dental Materials* , 182-187.

Kumar SR, P. A. (2016). Physical and thermo-mechanical characterizations of resin-based dental composite reinforced with silane-modified nanoalumina filler particle. *J Mater* , 504-514.

Lee I-B., S. H.-H.-M. (2003). Rheologic properties of flowable, conventional hybrid, and condensable composite resins. . *Dent Mater* , 19:298–307.

Lee JH, U. C. (2006). Rheological properties of resin composites according to variations in monomer and filler composition. *Dent Mater* . , Jun;22(6):515-26.

Leppaniemi J, H. S. (2017). Non-stick properties of thin-film coatings on dental-restorative instruments. *Eur J Oral Sci* , 125: 495–503.

Lohbauer U, Z. S. (2009). The effect of resin composite pre-heating on monomer conversion and polymerization shrinkage. . *Dent Mater* . , Apr;25(4):514-9.

Loumprinis N., E. M. (2021). Viscosity and stickiness of dental resin composites at elevated temperatures. *Dent Mater* , Mar;37(3):413-422.

Moszner N. (2007). The chemistry of the monomer or polymer matrix of dental composite restoratives. . *Report (Research and Development Ivoclar Vivadent AG)* .

Muñoz CA, B. P.-M. (2008). Effect of pre heating on depth of cure and surface hardness of light-polymerized resin composites. . *Am J Dent* . , Aug;21(4):215-22.

Odian G. (2004.). Radical chain polymerization principles of polymerization. *John Wiley & Sons Inc.* , p. 198–349.

- Perdigao J, G. G. (2006). Effect of instrument lubricant on the cohesive strength of a hybrid resin composite. . *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)* . , 37(8):621-5.
- Pereira SG, O. R. (2005). Evaluation of two Bis-GMA analogues as potential monomer diluents to improve the mechanical properties of light-cured composite resins. *Dental materials* , 21(9):823-30.
- Petrovic, Z. S. (2015). Viscoelastic properties of uncured resin composites: Dynamic oscillatory shear test and fractional derivative model. *Dent Mater* , Aug;31(8):1003-9. .
- Polydorou O, K. A. (2009). Uthethane dimethacrylate: A molecule that may cause confusion in dental research. *J Biomed Mater* , 1-4.
- Prasanna N., Y. P.-n. (2007). Degree of Conversion and Residual Stress of Pre- heated and Room-Temperature Composites. . *Indian J Dent Res.* , 18:173-6.
- Pratap B, G. R. (2019). Resin based restorative dental materials: characteristics and future perspectives. *The Japanese Dental Science Review* , 55(1):126-138.
- Roberson TM., H. H. (2002). *Sturdevants' Art & Science of Operative Dentistry*. St. Louis : Mosby.
- Rosentritt M, B. S. (2014). Rosentritt M, B. S. (2014). Laboratory tests for assessing adaptability and stickiness of dental composites. *Dent Mater.* , Sep;30(9):963-7.
- Sedrez-Porto JA, M. E.-C. (2016). Effects of modeling liquid/resin and polishing on the color change of resin composite. *Brazilian oral research.* , 30(1).
- Seemann R, F. S. (2014). Restorative dentistry and restorative materials over the next 20 years: a Delphi survey. . *Dent Mater* , 30:442–8.
- Silikas N, W. D. (1999). Rheology of urethane dimethacrylate and diluent formulations. *Dent Mater.* , Jul;15(4):257-61.
- Sneed WD, D. R. (1980). Effect of alcohol on the strength of a composite resin. *Operative dentistry.* , 5(2):47-8.
- Taylor, K. . (1998). Relationship between filler and matrix resin characteristics and the properties of uncured composite pastes. *Biomaterials* .

Temel G., E. B. (2011). Photopolymerization and photophysical properties of amine linked benzophenone photoinitiator for free radical polymerization. *A Chem.* , 219:26–31. .

Tjan AH, G. J. (1988). Effects of four lubricants used during incremental insertion of two types of visible light-activated composites. *The Journal of prosthetic dentistry* , 60(2):189-94.

Tuncer S, D. M. (2013). The effect of a modeling resin and thermocycling on the surface hardness, roughness, and color of different resin composites. *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry [et al]*. . 25(6):404-19.

Watts. (1994). Elastic moduli and visco-elastic relaxation. *J Dent* , 22:154–8.

Yang D-L, S. Q.-L.-X. (2020). The properties of dental resin composites reinforced with silica colloidal nanoparticle clusters: effects of heat treatment and filler composition. . *Compos B Eng* , 186:107791. .

Yang J, S. N. (2019). Pre-heating effects on extrusion force, stickiness and packability of resin-based composite. *Dent Mater.* , Nov;35(11):1594-1602.

Ηλιάδης Γ., Κ. Μ. (1994). *Σύνθετες ρητίνες, στο Οδοντιατρικά Βιοϋλικά*. Οδοντιατρικές εκδόσεις Σ. Ζαχαρόπουλος,.