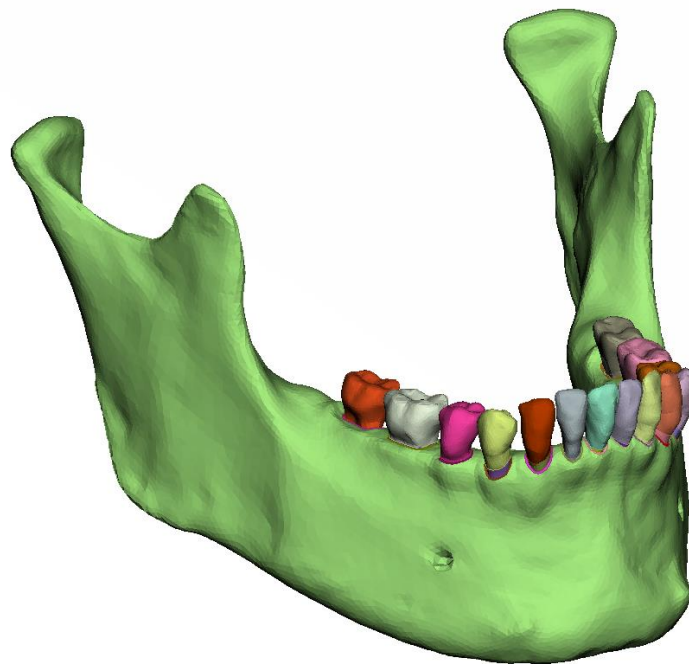




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ
ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΔΗΞΗΣ
ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ
ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΓΝΑΘΟ



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ : ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΙΔΟΥ ΧΡΥΣΑΝΘΗ, 1639

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΣΟΥΚΝΙΔΑΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

ΚΟΖΑΝΗ (ΜΑΡΤΙΟΣ, 2020)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	6
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT.....	10
1 ΣΤΑΘΜΗ ΓΝΩΣΗΣ.....	11
1.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟΜΑΤΟΓΝΑΘΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	11
1.2 ΤΑ ΔΟΝΤΙΑ	12
1.2.1 Οδοντικά εμφυτεύματα	17
1.2.2 Υλικά εμφυτευμάτων.....	18
1.3 ΝΕΥΡΟΜΥΪΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΓΝΑΘΟΥ	19
1.4 Άνω και κατώ γνάθος	21
1.5 ΚΡΟΤΑΦΟΓΝΑΘΙΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ.....	24
1.5.1 Κροταφογναθικές διαταραχές	24
1.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΜΑΣΗΣ.....	25
1.7 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΔΗΞΗΣ.....	27
1.8 ΤΑΞΕΙΣ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ.....	28
1.8.1 Συγκλεισιακές σχέσεις πρόσθιων δοντιών	29
1.8.2 Συγκλεισιακές σχέσεις οπίσθιων δοντιών.....	29
1.9 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΗΣ ΓΝΑΘΟΥ	30
2 ΜΕΛΕΤΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ	33
2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	33
2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ	35
2.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΚΑΘΕΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ	36
2.4 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΟΜΕΩΝ.....	41
2.5 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΥΝΟΔΟΝΤΩΝ	41
2.6 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΩΝ.....	42
2.7 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΓΟΜΦΙΩΝ.....	42
2.8 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΚΑΘΕΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ	43
2.9 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ- ΚΕΚΛΙΜΕΝΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ	45
3 ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ	47
3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ.....	47
3.2 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ.....	49
4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΠΑΦΩΝ	51
4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΣΤΑ ΟΠΙΣΘΙΑ ΔΟΝΤΙΑ	52
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΟΝΟΥ ΣΤΑ ΠΡΟΣΘΙΑ ΔΟΝΤΙΑ	59
4.3 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΠΑΦΗΣ ΤΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ.....	61
4.4 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	62
5 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	64
5.1 ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	64
5.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	65
5.3 ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	67
5.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	69

5.5	ΣΤΑΔΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	71
5.6	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	71
5.7	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	73
5.8	ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ.....	74
5.9	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΓΚΟΥ.....	83
5.10	ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ.....	84
5.11	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΗΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	87
6	ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	89
6.1	ΑΜΦΙΠΛΕΥΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	89
6.2	ΜΟΝΟΠΛΕΥΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ.....	91
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	95
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	96
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	99

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1-1 : ΣΤΟΜΑΤΟΓΝΑΘΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ {1}.....	11
ΕΙΚΟΝΑ 1-2 : ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟΜΑΤΟΓΝΑΘΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ {1}	11
ΕΙΚΟΝΑ 1-3 : ΑΝΑΤΟΜΙΑ ΔΟΝΤΙΟΥ {2}	12
ΕΙΚΟΝΑ 1-4 : ΤΥΠΟΙ ΔΟΝΤΙΩΝ {3},{4}.....	13
ΕΙΚΟΝΑ 1-5 : ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΣΤΟΜΑΤΙΚΗΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ {5}	15
ΕΙΚΟΝΑ 1-6 : ΣΗΜΕΙΟ ΕΠΑΦΗΣ {5}	15
ΕΙΚΟΝΑ 1-7 : ΜΑΣΗΤΙΚΗ ΑΓΚΑΛΗ {5}.....	16
ΕΙΚΟΝΑ 1-8 : ΑΥΛΑΚΕΣ ΔΟΝΤΙΩΝ {5}	16
ΕΙΚΟΝΑ 1-9 : ΦΥΜΑΤΑ ΚΑΙ ΎΠΑΡΜΑ ΔΟΝΤΙΟΥ {5}	16
ΕΙΚΟΝΑ 1-10 : ΒΟΘΡΙΑ ΔΟΝΤΙΩΝ {5}	17
ΕΙΚΟΝΑ 1-11 : ΟΔΟΝΤΙΚΑ ΕΜΦΥΤΕΥΜΑΤΑ {6}.....	18
ΕΙΚΟΝΑ 1-12 : ΤΡΙΔΥΜΟ ΝΕΥΡΟ {7}	20
ΕΙΚΟΝΑ 1-13 : ΑΝΑΣΠΩΝΤΕΣ ΤΗΝ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟ {8}.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 1-14 : ΚΑΤΑΣΠΩΝΤΕΣ ΤΗΝ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟ {8}.....	21
ΕΙΚΟΝΑ 1-15 : ΑΝΩ ΓΝΑΘΟΣ {9}.....	22
ΕΙΚΟΝΑ 1-16 : ΣΩΜΑ ΚΑΙ ΚΛΑΔΟΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ {10}.....	23
ΕΙΚΟΝΑ 1-17 : ΚΟΡΩΝΟΕΙΔΗΣ ΑΠΟΦΥΣΗ ΚΑΙ ΚΟΝΔΥΛΟΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ {10}.....	23
ΕΙΚΟΝΑ 1-18 : ΚΡΟΤΑΦΟΓΝΑΘΙΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ {11}.....	24
ΕΙΚΟΝΑ 1-19 : ΤΜΗΜΑΤΑ ΚΡΟΤΑΦΟΓΝΑΘΙΚΗΣ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗΣ {12}.....	24
ΕΙΚΟΝΑ 1-20 : ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΝ {1}.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 1-21 : ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΜΑΣΗΣΗΣ {13}.....	27
ΕΙΚΟΝΑ 1-22 : ΣΥΓΚΛΕΙΣΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΠΡΟΣΘΙΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ {1}	29
ΕΙΚΟΝΑ 1-23 : ΣΥΓΚΛΕΙΣΙΑΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΟΠΙΣΘΙΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ {1}.....	30
ΕΙΚΟΝΑ 1-24 : ΦΑΚΕΛΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ROSSELT {15}	30
ΕΙΚΟΝΑ 2-1: ΚΑΡΤΕΣΙΑΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΛΕΙΣΙΑΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ {16}.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 4-1 : ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΕΠΑΦΩΝ ΤΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ ΤΗΣ ΑΝΩ ΓΝΑΘΟΥ {17}	51
ΕΙΚΟΝΑ 4-2 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΩΤΟΥ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΥ {18}	53
ΕΙΚΟΝΑ 4-3 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΥ {19}.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 4-4 : ΣΗΜΕΙΑ ΕΠΑΦΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΥΣ {1}	54
ΕΙΚΟΝΑ 4-5 : ΧΡΟΝΟΙ ΕΠΑΦΗΣ ΣΤΟΥΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΥΣ {17}	55
ΕΙΚΟΝΑ 4-6 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΩΤΟΥ ΓΟΜΦΙΟΥ {18}	55
ΕΙΚΟΝΑ 4-7 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΓΟΜΦΙΟΥ {18}.....	56
ΕΙΚΟΝΑ 4-8 : ΣΗΜΕΙΑ ΕΠΑΦΗΣ ΣΤΟΥΣ ΓΟΜΦΙΟΥΣ {1}	56
ΕΙΚΟΝΑ 4-9 : ΧΡΟΝΟΙ ΕΠΑΦΗΣ ΣΤΟΥΣ ΓΟΜΦΙΟΥΣ {17}.....	58
ΕΙΚΟΝΑ 4-10 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΝΟΔΟΝΤΑ {18}.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 4-11: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ {18}.....	60
ΕΙΚΟΝΑ 4-12 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΑΓΙΟΥ ΤΟΜΕΑ {18}.....	60
ΕΙΚΟΝΑ 4-13 : ΧΡΟΝΟΙ ΕΠΑΦΗΣ ΣΤΑ ΠΡΟΣΘΙΑ ΔΟΝΤΙΑ {17}	60
ΕΙΚΟΝΑ 5-1 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	71
ΕΙΚΟΝΑ 5-2: ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ	72
ΕΙΚΟΝΑ 5-3 : ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	75
ΕΙΚΟΝΑ 5-4 : ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΟΣΤΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	76
ΕΙΚΟΝΑ 5-5 : ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΔΑΜΑΝΤΙΝΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΙΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, ΟΠΟΥ Α: ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ, Β: ΠΛΕΥΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ, Γ: ΚΥΝΟΔΟΝΤΑΣ	77
ΕΙΚΟΝΑ 5-6 : ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΑΔΑΜΑΝΤΙΝΗΣ ΤΩΝ ΟΠΙΣΘΙΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, ΟΠΟΥ Α : ΠΡΩΤΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ, Β: ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ, Γ: ΠΡΩΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ, Δ: ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ.....	78

ΕΙΚΟΝΑ 5-7 : ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΙΝΗΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ (Α) ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΥ (Β) ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	79
ΕΙΚΟΝΑ 5-8 : ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΙΝΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΙΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, ΟΠΟΥ Α: ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ, Β: ΠΛΕΥΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ, Γ: ΚΥΝΟΔΟΝΤΑΣ	79
ΕΙΚΟΝΑ 5-9: ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΙΝΗΣ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ (Α) ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΥ (Β) ΓΟΜΦΙΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	80
ΕΙΚΟΝΑ 5-10: ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΟΔΟΝΤΙΚΟΥ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΙΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, ΟΠΟΥ Α: ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ, Β: ΠΛΕΥΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ, Γ: ΚΥΝΟΔΟΝΤΑΣ	80
ΕΙΚΟΝΑ 5-11: ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΟΔΟΝΤΙΚΟΥ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ (Α) ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΥ (Β) ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	81
ΕΙΚΟΝΑ 5-12 : ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΟΔΟΝΤΙΚΟΥ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ (Α) ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟΥ (Β) ΓΟΜΦΙΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	81
ΕΙΚΟΝΑ 5-13: ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΛΦΟΥ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΙΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, ΟΠΟΥ Α: ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ, Β: ΠΛΕΥΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ, Γ: ΚΥΝΟΔΟΝΤΑΣ	82
ΕΙΚΟΝΑ 5-14 : ΠΛΕΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΟΛΦΟΥ ΤΩΝ ΟΠΙΣΘΙΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, ΟΠΟΥ Α : ΠΡΩΤΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ, Β: ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ, Γ: ΠΡΩΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ, Δ: ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 5-15 : ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΌΓΚΟΥ ΣΤΑ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, ΟΠΟΥ Α: ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, Β: ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΔΟΝΤΙΟΥ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΓΟΜΦΙΟΥ.....	84
ΕΙΚΟΝΑ 5-16 : ΚΑΘΕΤΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	85
ΕΙΚΟΝΑ 5-17: ΠΡΩΤΟ STEP ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ.....	86
ΕΙΚΟΝΑ 5-18: ΔΕΥΤΕΡΟ STEP ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	86
ΕΙΚΟΝΑ 5-19: ΤΡΙΤΟ STEP ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	87
ΕΙΚΟΝΑ 5-20 : ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	88
ΕΙΚΟΝΑ 6-1: ΑΜΦΙΠΛΕΥΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΦΑΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (STEP 1)	89
ΕΙΚΟΝΑ 6-2 : ΑΜΦΙΠΛΕΥΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΔΕΥΤΕΡΗ ΦΑΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (STEP 2)	90
ΕΙΚΟΝΑ 6-3 : ΑΜΦΙΠΛΕΥΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΤΡΙΤΗ ΦΑΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (STEP 3)	91
ΕΙΚΟΝΑ 6-4 : ΜΟΝΟΠΛΕΥΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΠΡΩΤΗ ΦΑΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (STEP 1)	92
ΕΙΚΟΝΑ 6-5: ΜΟΝΟΠΛΕΥΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΔΕΥΤΕΡΗ ΦΑΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (STEP 2)	93
ΕΙΚΟΝΑ 6-6 : ΜΟΝΟΠΛΕΥΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΗΝ ΤΡΙΤΗ ΦΑΣΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (STEP 3)	94

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-1 : ΣΥΓΚΛΕΙΣΙΑΚΕΣ ΤΑΞΕΙΣ -----	28
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΔΗΞΗΣ (ΣΕ Ν) ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΕΝΤΡΙΚΟΥΣ (I _c) ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΟΥΣ (I _L) ΤΟΜΕΙΣ ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΚΥΝΟΔΟΝΤΕΣ (C). ΟΠΟΥ L: Η ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, R: Η ΔΕΞΙΑ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, A: ΑΡΣΕΝΙΚΟ ΦΥΛΟ, Θ: ΘΗΛΥΚΟ ΦΥΛΟ [17] -----	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΔΗΞΗΣ (ΣΕ Ν) ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ (PM1) ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΟ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟ(PM2) . ΟΠΟΥ L: Η ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, R: Η ΔΕΞΙΑ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ [17] -----	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΔΗΞΗΣ (ΣΕ Ν) ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΩΤΟ (M1), ΔΕΥΤΕΡΟ (M2) ΚΑΙ ΤΡΙΤΟ (M3) ΓΟΜΦΙΟ. ΟΠΟΥ L: Η ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ ΚΑΙ R: Η ΔΕΞΙΑ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ [17]-----	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-4 : ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ DENTAL PRESSCALE SYSTEM ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΗΞΗΣ 100% [18] -----	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-5 : ΤΙΜΕΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ FBG [19] -----	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-6 : ΤΙΜΕΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ FBG [19] -----	39
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-7 : ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΚΑΙ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΟΣΤΟΙΧΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FBG [19]. -----	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-8 : ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΤΟΜΕΩΝ -----	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-9 : ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΥΝΟΔΟΝΤΩΝ -----	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-10 : ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΩΝ -----	42
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-11 : ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΘΕΤΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΓΟΜΦΙΩΝ-----	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-12 : ΕΥΡΟΣ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΤΥΠΟ ΔΟΝΤΙΩΝ -----	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-13 : ΕΥΡΟΣ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΟΝΤΙ ΞΕΧΩΡΙΣΤΑ. ΟΠΟΥ, IC :Ο ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, I _L : Ο ΠΛΕΥΡΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, C: Ο ΚΥΝΟΔΟΝΤΑΣ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, PM1: Ο ΠΡΩΤΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, PM2: Ο ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, M1: Ο ΠΡΩΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ, M2: Ο ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ ΚΑΙ M3: Ο ΤΡΙΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ -----	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-14 : ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΛΕΥΡΙΚΗ/ΚΕΚΛΙΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ ΔΗΞΗΣ [21] -----	46
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1: ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΔΗΞΗΣ ΣΤΗΝ ΔΕΞΙΑ ΚΑΙ ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΛΕΥΡΑ ΤΗΣ ΟΔΟΝΤΟΣΤΟΙΧΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FBG ΔΥΝΑΜΗ ΔΗΞΗΣ 100% [18]-----	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2 : ΣΥΓΚΛΕΙΣΙΑΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΟΠΙΣΘΙΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ [22]	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-3 : ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΥΓΚΛΕΙΣΙΑΚΩΝ ΕΠΑΦΩΝ ΣΕ MM ² [23] -----	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-4 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΥΓΚΛΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΔΟΝΤΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ. ΟΠΟΥ, I : ΤΟΜΕΙΣ, C : ΚΥΝΟΔΟΝΤΕΣ, PM1: ΠΡΩΤΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ, PM2: ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ, PM: ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΙ, M1 : ΠΡΩΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ, M2: ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ ,M3 : ΤΡΙΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ ΚΑΙ M: ΓΟΜΦΙΟΙ----	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-5 : ΕΥΡΟΣ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΔΟΝΤΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ -----	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1: ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΠΑΦΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΥΣ -----	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2 : ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΠΑΦΩΝ ΣΤΟΥΣ ΓΟΜΦΙΟΥΣ -----	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3 : ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΕΠΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟ ΟΠΟΥ, M3: 3ΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ, M2: 2ΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ, M1: 1ΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ, PM2: 2ΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ, PM1: 1ΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ, C: ΚΥΝΟΔΟΝΤΑΣ ΚΑΙ I : ΤΟΜΕΙΣ-----	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-4 : ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ----	63

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1 : ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ -----	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2 : ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ -----	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΝΑΘΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ -----	74
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4 : ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΌΓΚΟΥ-----	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-5 : ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΌΓΚΟΥ-----	83
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-6: ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΚΑΘΕΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΣΤΗΚΑΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΓΝΑΘΟΥ-----	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-7 : ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ [33]-----	87

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κύριο Τσουκνίδα Αλέξανδρο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου αναθέτοντας μου το συγκεκριμένο θέμα και ταυτόχρονα για την στήριξη και συνεισφορά του καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κύριο Μιχαλάκη Κωνσταντίνο για την πολύτιμη συνδρομή του με τις επικοδομητικές του υποδείξεις και την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωση της εργασίας. Ένα ευχαριστώ οφείλω και προς την εταιρία ΒΕΤΑ για την παροχή του λογισμικού (pre-processor και solver).

Ευχαριστώ θερμά τον Καρατση Ευάγγελο για την πολύτιμη συμβολή του στην εύρεση του τρισδιάστατου μοντέλου της κάτω γνάθου και την Μπακσίοβα Εμμανουέλα για την συνεχή υποστήριξη και βοήθεια που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης της προσομοίωσης του μοντέλου.

Με την παρούσα εργασία ολοκληρώνεται ο προπτυχιακός κύκλος σπουδών μου στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και δεν μπορώ παρά να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια, τη συμπαράσταση τους και την αγάπη τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι ο υπολογισμός των μέγιστων δυνάμεων δήξης που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια του κύκλου μάσησης στα δόντια της κάτω γνάθου. Προσδιορίστηκαν οι μέγιστες επιφάνειες σύγκλεισης των δοντιών της κάτω γνάθου όπως επίσης και η αλληλουχία του χρόνου επαφής των δοντιών. Ένα τρισδιάστατο μοντέλο της κάτω γνάθου, προσομοιώθηκε με την Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων, για να αναπαραστήσει τη φάση μέγιστης συναρμογής, κατά τη διάρκεια του κύκλου μάσησης. Η ανάλυση των τάσεων Von Mises και των μετατοπίσεων παρουσιάζονται επίσης για τους υπολογισμούς.

Η φάση της οδοντικής σύγκλεισης, είναι η θέση της κάτω γνάθου στην οποία εντοπίζονται οι μέγιστες επαφές μεταξύ των δοντιών και εμφανίζονται οι μέγιστες δυνάμεις δήξης. Οι πρώτες οδοντικές επαφές αρχίζουν από τα οπίσθια δόντια και συνεχίζουν προς τα πρόσθια αναπτύσσοντας φορτίσεις στα δόντια, που μεταδίδονται στα ούλα και στον περιοδοντικό ιστό. Η μέγιστη τιμή των φορτίσεων εντοπίζεται στη θέση των πρώτων γομφίων, για τις κάθετες δυνάμεις η μέγιστη τιμή κυμαίνεται από 330N έως 684 N και για τις πλευρικές η μέγιστη τιμή είναι 16,1 N. Στους πρώτους γομφίους, εμφανίζονται και μέγιστες επιφάνειες των επαφών με τιμή από 14 mm² έως 16,4 mm².

Αρχικά, παρουσιάζονται τα μορφολογικά στοιχεία των δοντιών της γνάθου, αναλύονται οι συγκλεισιακές επαφές των δοντιών και ο φάκελος κίνησης της γνάθου σύμφωνα με τον Rosselt. Έπειτα, προσδιορίζονται οι μέγιστες κάθετες και πλευρικές δυνάμεις δήξης που αναπτύσσονται στη φάση μέγιστης συναρμογής. Στο τρίτο κεφάλαιο, υπολογίζονται οι μέγιστες επιφάνειες σύγκλεισης των δοντιών και ακολουθεί υπολογισμός της αλληλουχίας του χρόνου επαφών στο τέταρτο κεφάλαιο. Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται η προσομοίωση του μοντέλου, με την εισαγωγή φορτίσεων, μηχανικών ιδιοτήτων και οριακών συνθηκών στο μοντέλου. Τέλος, γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων με την αναπαράσταση της μονόπλευρης και αμφίπλευρης φόρτισης του τρισδιάστατου μοντέλου της κάτω γνάθου.

ABSTRACT

The aim of this study is to calculate the maximum bite forces which developed during the chewing cycle on the lower mandible teeth. The maximum occlusal surfaces of the mandibular teeth are determined as well as the sequence of the contact time of the teeth. A three-dimensional mandible model is simulated by the Finite Element Method, in order to represent the position of maximum intercuspation in the chewing cycle. The Von Mises stress and displacements are plotted for evaluation.

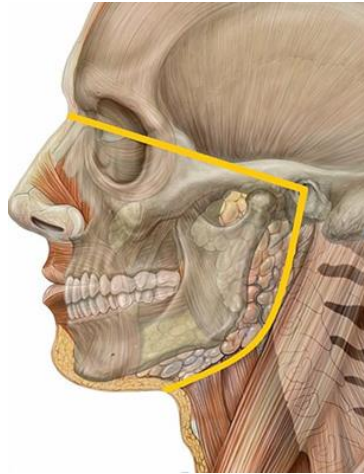
The phase of maximum intercuspation is the position of the mandible during which the maximum contact between the teeth is observed and the maximum bite forces start to act. The first tooth contacts start to occur in the posterior teeth and move on to the anterior teeth, developing forces transmitted to the gums and to the periodontal ligament. The maximum magnitude of the forces appears in the first molars, for vertical forces the maximum magnitude is 330N to 684N and for lateral forces the maximum magnitude is 16.4 N. We also have maximum occlusal surfaces for the first molars ranging from 14 mm² to 16.4 mm².

Initially, the morphological features of the mandibular teeth are represented and the analysis of the occlusal contacts of the teeth and Posselt's envelop of motion is displayed. Subsequently, the maximum vertical and lateral forces acting in the intercuspation position are represented. The third chapter is referred to the determination of the maximum occlusion surfaces and in the fourth chapter we represent the tooth contact timing sequence for the mandible. In the fifth chapter, the mandible model is simulated by inserting the maximum vertical loads, the mechanical properties and the boundary conditions. In conclusion, we summarize the final results and we represent the unilateral and bilateral load conditions on the three dimensional finite element model of the mandible.

1. Στάθμη Γνώσης

1.1 Λειτουργία στοματογναθικού συστήματος

Οι διαδικασίες της μάσησης, της κατάποσης και της ομιλίας οφείλονται κατά κύριο λόγο στη λειτουργία του στοματογναθικού συστήματος. Το στοματογναθικό σύστημα είναι μια λειτουργική μονάδα του σώματος που αποτελείται από τα δόντια, τον νευρομυϊκό μηχανισμό και τον περιοδοντικό ιστό, την γνάθο και τις κροταφογναθικές διαρθρώσεις, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-1.



Εικόνα 1-1 : Στοματογναθικό Σύστημα {1}

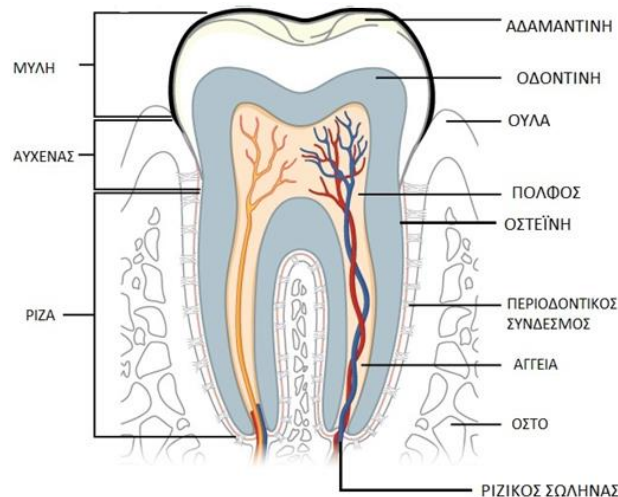
Η ρύθμιση του συστήματος γίνεται από το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) και η αρμονική λειτουργία των στοιχείων του συστήματος είναι αυτή που εξασφαλίζει την απόδοσή του και την λειτουργική του ικανότητα. Η σχέση συνεργασίας μεταξύ των στοιχείων του στοματογναθικού συστήματος, παρουσιάζεται στην Εικόνα 1-2.



Εικόνα 1-2 : Στοιχεία Στοματογναθικού Συστήματος {1}

1.2 Τα δόντια

Τα δόντια παίζουν σημαντικό ρόλο στη μάσηση, στην ομιλία αλλά και στην αισθητική του προσώπου. Στους ανθρώπους υπάρχουν δύο οδοντοφυΐες, η νεογιλή και η μόνιμη. Τα πρώτα δόντια εμφανίζονται στον έβδομο περίπου μήνα ζωής. Η παιδική οδοντοφυΐα αποτελείται από είκοσι συνολικά δόντια. Μετά την ηλικία των 6 ετών, τα νεογιλά ή παιδικά δόντια, αρχίζουν να αντικαθίστανται από τα μόνιμα πλέον δόντια. Τα τελευταία δόντια που ανατέλλουν στο στόμα ονομάζονται φρονιμίτες και συμπληρώνουν το σύνολο των 32 δοντιών που συμπεριλαμβάνονται στη μόνιμη οδοντοφυΐα.



Εικόνα 1-3 : Ανατομία Δοντιού {2}

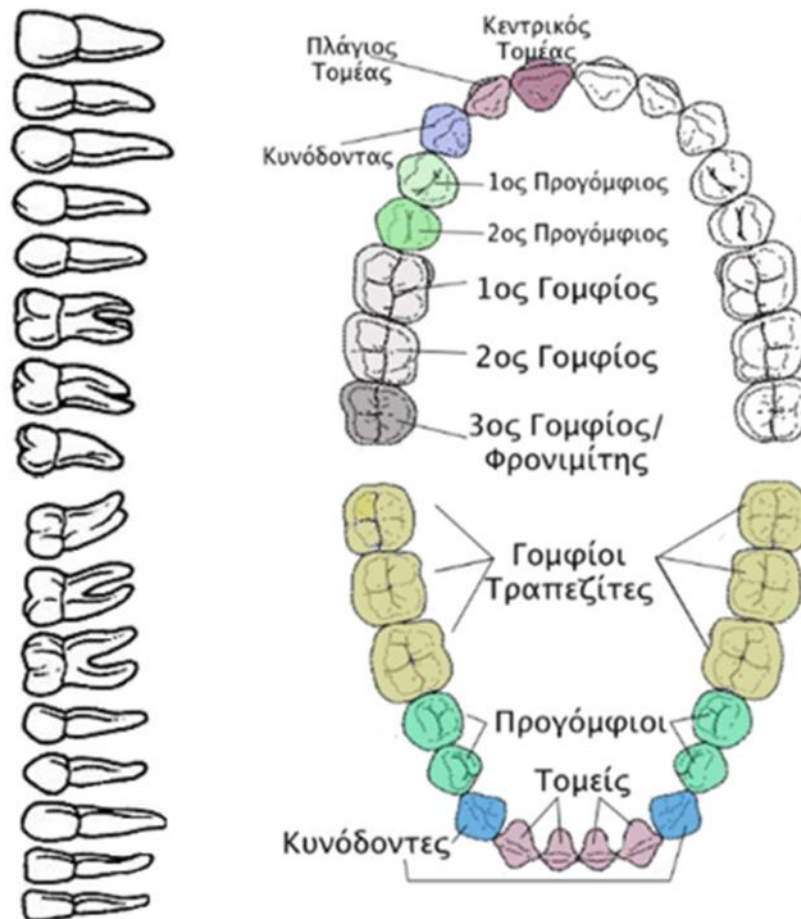
Τα δόντια συγκρατούνται μέσα στο στόμα από το οστό της γνάθου που καλύπτεται από τα ούλα. Το τμήμα του δοντιού που είναι ελεύθερο στη στοματική κοιλότητα ονομάζεται μύλη και το τμήμα του δοντιού που είναι βυθισμένο στο οστό ονομάζεται ρίζα (Βλέπε Εικόνα 1-3). Η ρίζα εισέρχεται μέσα σε μια κοιλότητα του οστού της γνάθου που ονομάζεται φατνίο. Η μεταβατική περιοχή που βρίσκεται μεταξύ της ρίζας και της μύλης του δοντιού ονομάζεται αυχένας.

Τα δόντια αποτελούνται από τρεις σκληρούς ιστούς, την αδαμαντίνη, την οδοντίνη και την οστεΐνη και έναν μαλακό ιστό, τον πολφό. Η αδαμαντίνη ή σμάλτο, είναι ο πιο σκληρός ιστός του ανθρώπινου σώματος και επικαλύπτει το ορατό τμήμα του δοντιού που εξέχει μέσα στο στόμα. Εξαιτίας της σκληρότητας που εμφανίζει, βοηθάει στον τεμαχισμό και στη λειοτρίβηση της τροφής που εισέρχεται στο στόμα. Η οδοντίνη είναι πιο μαλακή από την αδαμαντίνη και είναι υπεύθυνη για το φυσικό χρώμα των δοντιών. Καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα του δοντιού και έχει ελαφρώς κίτρινο χρώμα. Η αδαμαντίνη και η οδοντίνη, αποτελούν το εξωτερικό και εσωτερικό, αντίστοιχα, στρώμα της μύλης που προστατεύει τον πολφό. Ο πολφός, αποτελείται από το νευρικό ιστό και τα αιμοφόρα αγγεία και είναι υπεύθυνος για τη θρέψη του δοντιού. Η οστεΐνη καλύπτει το εξωτερικό τμήμα της ρίζας του δοντιού που βρίσκεται κάτω από τα ούλα. Βοηθάει στην συγκράτηση του δοντιού στο φατνίο και προστατεύει το τμήμα της ρίζας του δοντιού.

Ο περιοδοντικός ιστός είναι υπεύθυνος για την συγκράτηση των δοντιών στη θέση τους. Εντοπίζεται ανάμεσα στο φατνιακό οστό και τα δόντια, όπου βρίσκονται οι

ίνες του συνεκτικού ιστού. Υπάρχουν τέσσερα στοιχεία που αποτελούν τις δομές του περιοδοντικού ιστού. Αυτά εμφανίζονται στην επιφάνεια της ρίζας κάθε δοντιού, στο οστό που περιβάλλει το δόντι, στον περιοδοντικό σύνδεσμο που καλύπτει τη ρίζα του δοντιού και στους αύλακες όπου τα ούλα συναντούν τα δόντια.

Στην ανθρώπινη οδοντοστοιχία υπάρχουν διαφορετικοί τύποι δοντιών, οι οποίοι βοηθούν, ανάλογα με την αποστολή τους, στο δάγκωμα, στον τεμαχισμό και στη λειοτρίβηση των τροφών (Βλέπε Εικόνα 1-4).



Εικόνα 1-4 : Τύποι Δοντιών {3},{4}

Στον πρώτο τύπο δοντιών έχουμε τους τομείς. Κύριο έργο τους είναι ο τεμαχισμός των τροφών κατά την είσοδό τους στην στοματική κοιλότητα και συμμετέχουν τόσο στην ομιλία όσο και στην αισθητική του προσώπου. Υπάρχουν τέσσερις τομείς σε κάθε γνάθο και χωρίζονται σε δύο κεντρικούς και σε δύο πλάγιους. Οι κεντρικοί τομείς βρίσκονται πιο κοντά στη μέση γραμμή του προσώπου ενώ αντίστοιχα οι πλάγιοι βρίσκονται εκατέρωθεν των κεντρικών τομέων. Μπορούμε να τους ξεχωρίσουμε από τη πλατιά κοπτική επιφάνεια και από την μία και μοναδική ρίζα που έχουν.

Στο δεύτερο τύπο ανήκουν οι κυνόδοντες που θεωρούνται από τα σημαντικότερα δόντια της οδοντοστοιχίας. Υπάρχουν τέσσερις συνολικά κυνόδοντες στη στοματική κοιλότητα, δύο σε κάθε γνάθο αντίστοιχα. Κύρια λειτουργία τους είναι

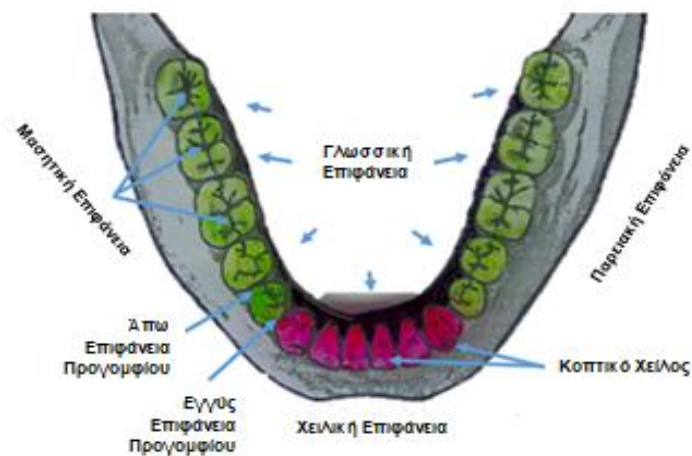
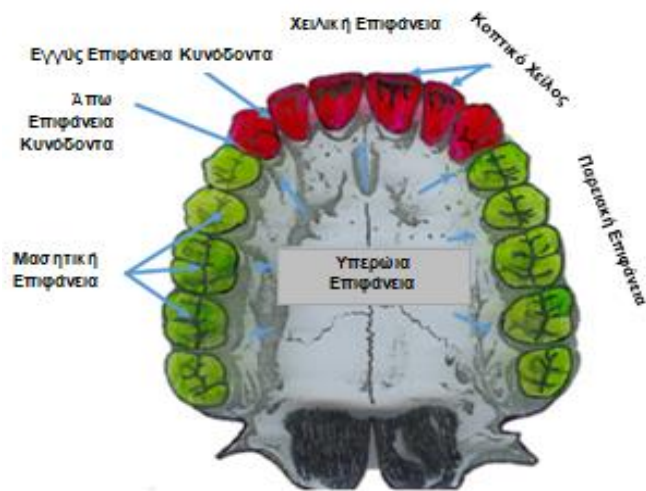
ο κατακερματισμός της τροφής. Παίζουν σημαντικό ρόλο στην ομιλία, στην αισθητική του προσώπου αλλά και στην καθοδήγηση των κινήσεων της κάτω γνάθου. Οι τομείς και οι κυνόδοντες ανήκουν στα πρόσθια δόντια της γνάθου.

Στον τρίτο τύπο ανήκουν οι προγόμφιοι που βρίσκονται δίπλα στους κυνόδοντες. Βοηθούν στη διαδικασία της μάσησης με την σύνθλιψη της τροφής. Σε κάθε γνάθο υπάρχουν τέσσερις προγόμφιοι δύο αριστερά και δύο δεξιά. Ο πρώτος προγόμφιος είναι ο μικρότερος από όλους τους προγομφίους και μοιάζει με τον κυνόδοντα ενώ ο δεύτερος προγόμφιος είναι παρόμοιος μορφολογικά με τον πρώτο προγόμφιο, αλλά είναι πιο ογκώδης και ισχυρότερος από όλους τους προγομφίους.

Στον τέταρτο τύπο δοντιών ανήκουν οι γομφίοι ή αλλιώς τραπεζίτες. Υπάρχουν τρία είδη γομφίων αριστερά και δεξιά των γνάθων, ο πρώτος, ο δεύτερος και ο τρίτος γομφίος. Ο τρίτος γομφίος ονομάζεται αλλιώς φρονιμίτης ή σωφρονιστήρας. Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την πολτοποίηση των τροφών πριν την κατάποση. Έχουν περισσότερες ρίζες από τα προηγούμενα δόντια και ακανόνιστες μασητικές επιφάνειες. Οι προγόμφιοι και οι γομφίοι επειδή βρίσκονται στην πίσω πλευρά της στοματικής κοιλότητας ανήκουν στα οπίσθια δόντια της γνάθου.

Τα δόντια μπορούν να χωριστούν σε πέντε επιφάνειες, όπως φαίνονται και στην Εικόνα 1-5, ανάλογα με το σημείο που βρίσκονται στη στοματική κοιλότητα. Αυτές είναι :

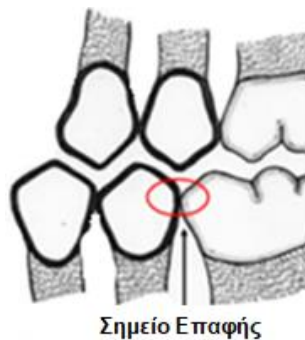
- ✚ Η χειλική επιφάνεια, που είναι η επιφάνεια του δοντιού που έρχεται σε επαφή με τα χείλη, για τα πρόσθια δόντια ή την παρειακή επιφάνεια, που είναι η επιφάνεια του δοντιού που έρχεται σε επαφή με τα μάγουλα, για τα οπίσθια δόντια.
- ✚ Η γλωσσική επιφάνεια, που είναι η επιφάνεια του δοντιού προς την πλευρά της γλώσσας, για την κάτω γνάθο ή την υπερώια επιφάνεια, που είναι η επιφάνεια του δοντιού προς τον ουρανίσκο, για την άνω γνάθο.
- ✚ Η εγγύς επιφάνεια, που είναι η επιφάνεια του δοντιού που βρίσκεται προς τη γραμμή συμμετρίας του προσώπου.
- ✚ Η άπω επιφάνεια, που είναι η επιφάνεια του δοντιού που βρίσκεται μακριά από τη γραμμή συμμετρίας του προσώπου.
- ✚ Η μασητική επιφάνεια, που είναι η επιφάνεια μάσησης.



Εικόνα 1-5 : Επιφάνειες Στοματικής Κοιλότητας {5}

Τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά των δοντιών παρουσιάζονται παρακάτω :

Σημείο Επαφής : Σαν σημείο επαφής μπορεί να οριστεί η περιοχή του δοντιού εγγύς ή άπω που έρχεται σε επαφή με την αντίστοιχη περιοχή του γειτονικού δοντιού (Βλέπε Εικόνα 1-6).



Εικόνα 1-6 : Σημείο Επαφής {5}

Μασητική Αγκάλη: Ο όρος μασητική αγκάλη αναφέρεται στο μεσοδόντιο διάστημα γύρω από το σημείο επαφής (Βλέπε Εικόνα 1-7).

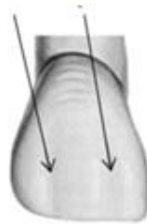
Μασητική Αγκάλη



Εικόνα 1-7 : Μασητική Αγκάλη {5}

Αύλακες: Αύλακες ονομάζονται οι βαθιές επιμήκεις κοιλότητες που εμφανίζονται στις μασητικές επιφάνειες των οπίσθιων δοντιών. Οι λιγότερο έντονες αύλακες που παρουσιάζονται στα οπίσθια δόντια, ονομάζονται δευτερογενείς αύλακες. Στα πρόσθια δόντια, επειδή οι κοιλότητες αυτές δεν είναι τόσο ευδιάκριτες αποκαλούνται παραγωγικές ή αυξητικές ή πρωτογενείς αύλακες (Βλέπε Εικόνα 1-8).

Αυξητικές Αύλακες



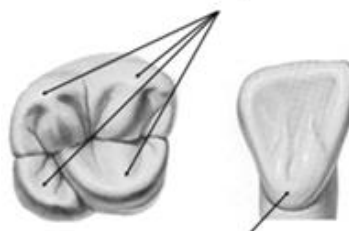
Δευτερογενείς Αύλακες



Εικόνα 1-8 : Αύλακες Δοντιών {5}

Φύμα: Φύμα ονομάζεται το εξόγκωμα που βρίσκεται στις μασητικές επιφάνειες των οπίσθιων δοντιών. Κάθε δόντι ανάλογα με την λειτουργία που επιτελεί έχει διαφορετικό αριθμό φυμάτων. Τα φύματα που εμφανίζονται στα πρόσθια δόντια ονομάζονται επάρματα, εξαιτίας του μικρότερου μεγέθους που παρουσιάζουν (Βλέπε Εικόνα 1-9).

Φύματα



Έπαρμα

Εικόνα 1-9 : Φύματα και Έπαρμα Δοντιού {5}

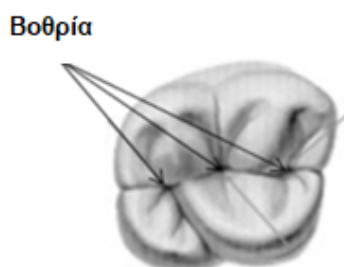
Λειτουργικά ή κεντρικά ή στηρικτικά ή υποβαστάζοντα φύματα ονομάζονται :

- ✚ Τα υπερώια φύματα των οπίσθιων δοντιών της άνω γνάθου
- ✚ Τα παρειακά φύματα των οπίσθιων δοντιών της κάτω γνάθου

Μη λειτουργικά ή μη κεντρικά φύματα ονομάζονται :

- ✚ Τα παρειακά φύματα των οπίσθιων δοντιών της άνω γνάθου
- ✚ Τα γλωσσικά φύματα των οπίσθιων δοντιών της κάτω γνάθου

Βοθρία: Τα στρόγγυλα κοιλώματα που εμφανίζονται στα σημεία ένωσης των αυλακών στις μασητικές επιφάνειες, αποκαλούνται βοθρία (Βλέπε Εικόνα 1-10).



Εικόνα 1-10 : Βοθρία Δοντιών {5}

1.2.1 Οδοντικά εμφυτεύματα

Στις μέρες μας, τα οδοντικά εμφυτεύματα χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική θεραπευτική αγωγή για την αντιμετώπιση των λειτουργικών και αισθητικών προβλημάτων της στοματικής κοιλότητας. Η τοποθέτησή τους γίνεται σε ασθενείς με ελλιπή οδοντοστοιχία για την αναπλήρωση των κενών του οδοντικού φραγμού και για την παροχή στήριξης, όπως σε μια γέφυρα, ώστε να αποφευχθεί η τοποθέτηση κινητής οδοντοστοιχίας (Βλέπε Εικόνα 1-11).

Τα εμφυτεύματα βοηθούν ωστόσο και στην αποκατάσταση της αισθητικής του προσώπου, όπως το χαμόγελο, βελτιώνοντας την αυτοπεποίθηση των ασθενών. Λειτουργικά επιτυγχάνουν την αποκατάσταση τόσο της μάσησης όσο και της ομιλίας καθώς επίσης και της υγείας της οδοντοστοιχίας. Αξιοσημείωτο είναι πως, η απουσία των δοντιών οδηγεί στην μείωση της οστικής μάζας του οστού της γνάθου (Wolff's Law) και στην απώλεια στήριξης των χειλιών. Ως αποτέλεσμα, η απώλεια νεανικής όψης και αρμονικής ανατομίας του προσώπου είναι αναπόφευκτη εξαιτίας της οστικής απώλειας.

Ωστόσο, παρά την εξέλιξη που έχει παρουσιάσει ο τομέας της οδοντιατρικής, τα οδοντικά εμφυτεύματα οδηγούνται σε αστοχίες και αποτυγχάνουν. Κύριος λόγος, είναι το πρόβλημα της σταθεροποίησης των εμφυτευμάτων στους ιστούς μακροπρόθεσμα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την σταθερότητα των εμφυτευμάτων είναι η πυκνότητα των οστών και η χρήση της τεχνικής για την τοποθέτηση του εμφυτεύματος.

Για να επιτευχθεί η σταθερότητα πρέπει να προσεγγιστούν οι δυνάμεις που ασκούνται στα εμφυτεύματα και μεταδίδονται στο οστό και στους περιβάλλοντες ιστούς κατά την διεπαφή. Ελλείψεις όσον αφορά τις φορτίσεις, τις οριακές συνθήκες και τις ιδιότητες των οστών υπάρχουν στην βιβλιογραφία [5]. Επιπρόσθετα, οι δυνάμεις έχουν μετρηθεί μόνο σε επίπεδο επαφής και οι μετρήσεις της τάσης γύρω από το οστό έχουν μόνο θεωρητική βάση, αφού προσδιορίζονται μέσα από υπολογιστικά μοντέλα. Οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψιν είναι πολλές και επηρεάζουν κάθε φορά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Οι δυνάμεις φόρτισης επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως η κατεύθυνση της δύναμης και το μέγεθος, ο σχεδιασμός και το υλικό του εμφυτεύματος, η πυκνότητα του οστού, οι μηχανικές ιδιότητες και ο αριθμός των εμφυτευμάτων που υπάρχουν στην οδοντοστοιχία.

Ως αποτέλεσμα, κατά τη διάρκεια επαφής των δοντιών υπάρχουν μη αξονικές φορτίσεις. Οι δυνάμεις δεν ασκούνται μόνο στον κεντρικό άξονα του δοντιού αλλά και σε διαφορετικές κατευθύνσεις δημιουργώντας ροπές κάμψης στα δόντια. Για αυτό τον λόγο η εκτίμηση, ενός ρεαλιστικού πλαισίου δυνάμεων μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση της καταπόνησης σε διάφορες ανατομικές θέσεις προκειμένου να προληφθούν πιθανές κακώσεις και οι παραμορφώσεις που μπορεί να συμβούν.



Εικόνα 1-11 : Οδοντικά Εμφυτεύματα {6}

1.2.2 Υλικά εμφυτευμάτων

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των υλικών είναι αυτές που καθορίζουν την επιτυχία της θεραπείας με εμφυτεύματα. Ένα ιδανικό υλικό θα πρέπει να είναι συμβατό με τον ανθρώπινο οργανισμό, να έχει επαρκή αντοχή σε θραύση και να είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και τη φθορά. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις θεραπείες με εμφυτεύματα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την χημική τους σύνθεση σε μέταλλα και κεραμικά υλικά.

Στην κατασκευή των εμφυτευμάτων, χρησιμοποιείται κυρίως το τιτάνιο (Ti) ή τα κράματα τιτανίου. Το τιτάνιο είναι ένα πολύ ανθεκτικό μέταλλο με μικρή πυκνότητα. Εμφανίζει χαμηλά επίπεδα τοξικότητας και έχει υψηλή αντοχή σε διάβρωση. Είναι ο πιο κοινός τύπος οδοντικών εμφυτευμάτων και χρησιμοποιείται στις οδοντιατρικές ιατρικές επεμβάσεις παρουσιάζοντας μεγάλα ποσοστά επιτυχίας. Σαν υλικό, είναι απόλυτα συμβατό με τον ανθρώπινο οργανισμό και επιταχύνει τις διαδικασίες της οστεοενσωμάτωσης, προκειμένου να αποκατασταθεί η λειτουργική σταθερότητα του εμφυτεύματος.

Υπάρχουν όμως περιπτώσεις εμφάνισης δυσανεξίας των οργανισμών στα κράματα τιτανίου. Η κύρια αιτία, είναι η απελευθέρωση μεγάλου ποσοστού μεταλλικών ιόντων στο οστό του ξενιστή και στους παρακείμενους ιστούς ως αποτέλεσμα της καταστροφής και της διάβρωσης των μεταλλικών κραμάτων παρουσία των υγρών στο στοματικό περιβάλλον [6].

Τα βιοκεραμικά εμφυτεύματα προσφέρουν μια αξιόπιστη εναλλακτική λύση έναντι των μεταλλικών εμφυτευμάτων. Ένα από τα πιο αξιόπιστα εμφυτεύσιμα βιοκεραμικά υλικά είναι το διοξείδιο του ζirkονίου ή αλλιώς ζirkονία (ZrO_2). Είναι ένα ισχυρό και σκληρό υλικό, χωρίς μέταλλα, που εξασφαλίζει άριστα αισθητικά αποτελέσματα, αφού το χρώμα του είναι παρόμοιο με αυτό των δοντιών. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι οι υψηλές μηχανικές αντοχές, η αντοχή στη διάβρωση και ο ικανοποιητικός βαθμός βιοσυμβατότητας.

Και τα δύο υλικά είναι συμβατά για την θεραπεία με την χρήση εμφυτευμάτων. Η διαφορά τους, είναι πως για το τιτάνιο έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες σε σχέση με τις μηχανικές του ιδιότητες, τον σχεδιασμό, την κατασκευή των εμφυτευμάτων και έχει γίνει γνωστή η ευρεία χρήση του στον κλάδο της ιατρικής. Ενώ η ζirkονία, ως νέο υλικό απαιτεί νέες επιστημονικές μελέτες, έτσι ώστε να υπάρξει μια μακροπρόθεσμη κλινική αξιολόγηση του συστήματος για την προσθετική αποκατάσταση.

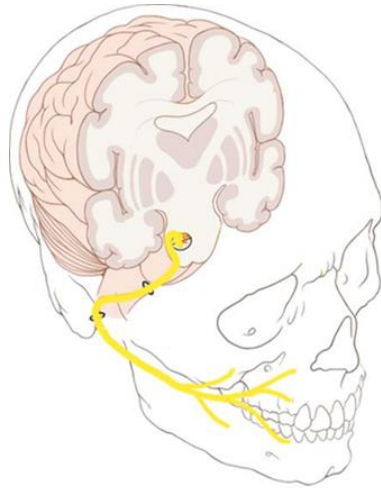
1.3 Νευρομυϊκός μηχανισμός κίνησης της γνάθου

Η σύνδεση του νευρικού και μυϊκού συστήματος, που γίνεται με τη βοήθεια του κεντρικού νευρικού συστήματος, αποτελούν τον νευρομυϊκό μηχανισμό που συμμετέχει στη λειτουργία του στοματογναθικού συστήματος.

Τα νεύρα των δοντιών προέρχονται από το τρίδυμο νεύρο (facial nerve) όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-12. Η λειτουργία του σχετίζεται με την αισθητικότητα του προσώπου και την κινητική νεύρωση των μυών της μάσησης. Ελέγχει τους μύες έκφρασης του προσώπου και είναι υπεύθυνο για την μεταφορά των αισθήσεων της γεύσης στη γλώσσα.

Είναι κρανιακό νεύρο και περιέχει πολλούς κλάδους. Ανατομικά μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος, βρίσκεται εντός του εγκεφαλικού στελέχους και η πορεία που ακολουθεί είναι μέσα στην κρανιακή κοιλότητα και στο ίδιο το κρανίο. Το δεύτερο μέρος, είναι εκτός του εγκεφαλικού στελέχους και απλώνεται στο πρόσωπο και στο λαιμό.

Οι μύες του προσώπου συμβάλλουν στη λειτουργία του στοματογναθικού συστήματος. Η ανατομία χωρίζει τους μύες της γνάθου σε κύριους και βοηθητικούς. Οι κύριοι μύες που συμμετέχουν τόσο στη μάσηση και την κατάποση όσο και στην ομιλία. Ενώ αντίθετα, οι βοηθητικοί μύες σε συνεργασία με τους κύριους βοηθούν στην αναπνοή και στις εκφράσεις του προσώπου για την εκδήλωση των συναισθημάτων.



Εικόνα 1-12 : Τρίδυμο Νεύρο {7}

Στους κύριους μύες ανήκουν :

- ✚ Οι μασητήριοι (μασητήρας, κροταφίτης, έσω και έξω πτερυγοειδής)
- ✚ Οι άνωθεν του υοειδούς οστού μύες (διγάστρω, βελονοϋοειδής, γναθοϋοειδής, γενειοϋοειδής)
- ✚ Οι κάτωθεν του υοειδούς οστού μύες (στερνοϋοειδής, στερνοθύρεοειδής, ωμοϋοειδής, θυρεοϋοειδής)

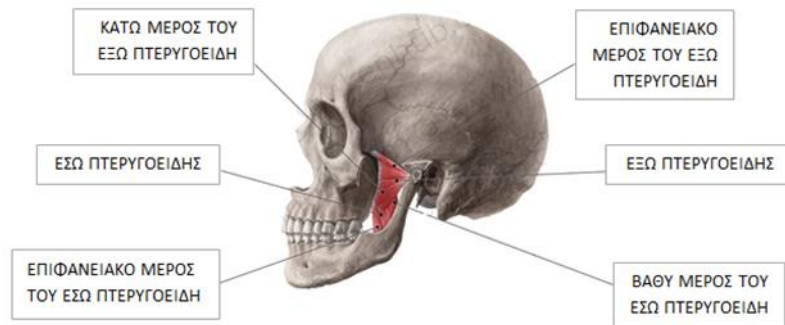
Στους βοηθητικούς μύες ανήκουν :

- ✚ Οι μιμικοί ή μύες έκφρασης
- ✚ Οι του θόλου του κρανίου
- ✚ Οι μύες προσώπου
- ✚ Οι αυτόχθονες και ετερόχθονες της γλώσσας
- ✚ Οι ετερόχωροι τραχηλικοί
- ✚ Οι πλάγιοι και οπίσθιοι τραχηλικοί

Οι μύες που συμμετέχουν στην λειτουργία του στοματογναθικού συστήματος χωρίζονται σε ανασπώντες και κατασπώντες την κάτω γνάθο μύες και στον έξω πτερυγοειδή.

Οι ανασπώντες την κάτω γνάθο μύες (Βλέπε Εικόνα 1-13) είναι ο μασητήρας, ο έσω πτερυγοειδής και ο κροταφίτης. Κύρια λειτουργία τους είναι η ανάσπαση της κάτω γνάθου ενώ ευνοούν και την ανάπτυξη μεγάλων δυνάμεων. Ο μασητήρας συμμετέχει στα περισσότερα στάδια της μάσησης και χρησιμεύει στην ανύψωση της γνάθου κατά το κλείσιμο του στόματος. Ο κροταφίτης είναι από τους πιο ισχυρούς μύες του στοματογναθικού συστήματος, με την μετακίνηση της γνάθου προς τα πίσω, προς τα επάνω και πλάγια μας επιτρέπει να δαγκώσουμε και στη συνέχεια να

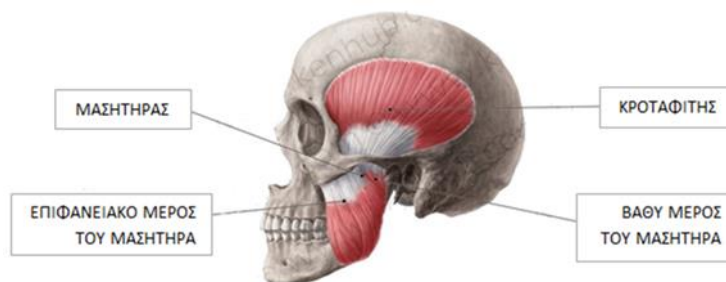
μασήσουμε την τροφή. Ο έσω πτερυγοειδής μυς έχει παρόμοια λειτουργία με τον μασητήρα και μαζί με τον κροταφίτη παράγουν τις πλευρικές δυνάμεις στα δόντια.



Εικόνα 1-13 : Ανασπώντες την Κάτω Γνάθο {8}

Οι κατάσπωντες την κάτω γνάθο (Βλέπε Εικόνα 1-14) είναι οι μύες άνω και κάτω του υοειδούς οστού. Βοηθούν στην κατάσπασση της γνάθου και την ενώνουν με το υοειδές οστό. Το υοειδές οστό έχει σχήμα U και βρίσκεται μεταξύ της βάσης της γλώσσας και του λάρυγγα. Επειδή η φορά των ινών είναι παράλληλη με αυτή των κατασπώντων μυών οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σε αυτή την περιοχή είναι μικρότερες σε τιμή.

Ο έξω πτερυγοειδής μυς αποτελείται από δύο μοίρες την άνω και την κάτω και δεν μπορεί να συμπεριληφθεί σε καμία από τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Ο λόγος είναι γιατί η κάτω μοίρα χρησιμεύει κατά την κατάσπασση της γνάθου σε αντίθεση με την άνω μοίρα που ενεργοποιείται κατά την ανάσπασση. Η αμφοτερόπλευρη σύσπασση των δύο μυών μετακινεί τη γνάθο προς τα εμπρός και η ετερόπλευρη σύσπασση μετακινεί την γνάθο στα πλάγια.



Εικόνα 1-14 : Κατασπώντες την Κάτω Γνάθο {8}

1.4 Άνω και κάτω γνάθος

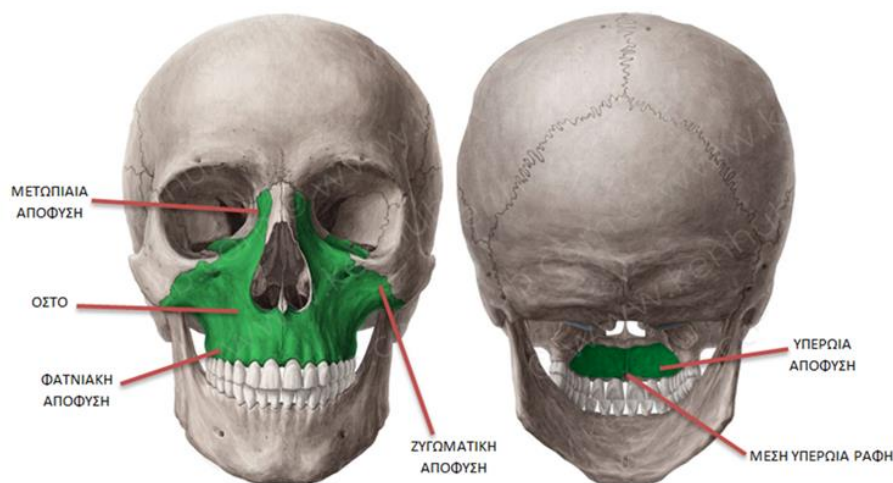
ΑΝΩ ΓΝΑΘΟΣ

Η άνω γνάθος (Βλέπε Εικόνα 1-15), βρίσκεται μπροστά και κάτω από το κρανίο. Συμμετέχει στον σχηματισμό της ρινικής κοιλότητας (μύτη), του κοίλου του στόματος και του οφθαλμικού κόγχου (περιοχή που περιλαμβάνει το οστέινο

περίβλημα γύρω από τα μάτια). Συγκρατεί τα ανώτερα δόντια και παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της μάσησης και στην ομιλία.

Ο σχηματισμός της άνω γνάθου γίνεται με την ένωση δύο οστών στη μέση υπερώια ραφή, που βρίσκεται στο εσωτερικό της στοματικής κοιλότητας. Κάθε οστό αποτελείται από τέσσερις αποφύσεις.

Ως απόφυση ορίζεται ένα φυσιολογικό, μη ανώμαλο εξόγκωμα του οστού. Οι αποφύσεις αυτές είναι η μετωπιαία, η ζυγωματική, η υπερώια και η φατνιακή.



Εικόνα 1-15 : Άνω Γνάθος {9}

ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΣ

Η κάτω γνάθος έχει σχήμα πετάλου (U) και αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα, ανθεκτικότερα και ισχυρότερα οστά του κρανίου. Ο σχηματισμός της χρησιμεύει ως τόξο στην στοματική κοιλότητα, ώστε να υποστηρίξει την γλώσσα και τους μύες του στόματος.

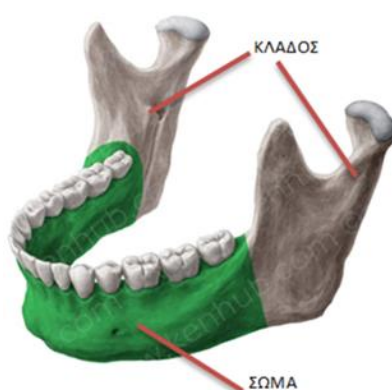
Είναι ένα ενιαίο οστό το οποίο δεν συνδέεται άμεσα με τα υπόλοιπα οστά του κρανίου. Η σύνδεση γίνεται μέσω δύο κροταφογναθικών αρθρώσεων και σε συνδυασμό με το μυϊκό σύστημα προσδίδεται στην γνάθο η ικανότητα κίνησης.

Η κάτω γνάθος παίζει σημαντικό ρόλο σε πολλές λειτουργίες του στόματος. Το μυϊκό σύστημα προσδίδει κίνηση στην γνάθο, που με την βοήθεια των δοντιών και των αρθρώσεων συνεργάζονται για τη λειτουργία της μάσησης. Η κάτω γνάθος μπορεί να κινείται πλευρικά για να αλέσει την τροφή και να βοηθήσει στην διαδικασία της κατάποσης. Οι αρθρώσεις επιτρέπουν την ανύψωση τη γνάθου, διευκολύνοντας την διαδικασία της ομιλίας με το άνοιγμα και κλείσιμο του στόματος ρυθμίζοντας την ροή του αέρα.

Όλες αυτές οι κινήσεις της γνάθου, επιτρέπουν την δημιουργία εκφράσεων του προσώπου και αναπτύσσουν ένα σύνθετο σύστημα παραγωγής δυνάμεων. Αναπτύσσονται δυνάμεις από τους μύες του προσώπου και δυνάμεις αντίδρασης που δρουν μεταξύ των δοντιών και των κροταφογναθικών αρθρώσεων. Οι φορτίσεις αυτές, μπορούν να επηρεάσουν την αρχιτεκτονική του οστού και να οδηγήσουν σε παραμορφώσεις.

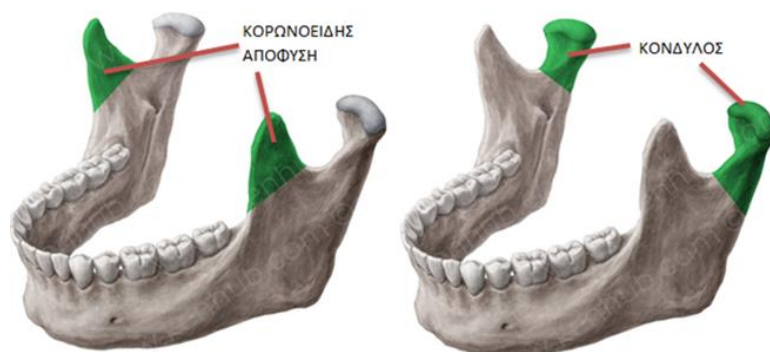
Οι καταπονήσεις που δέχεται η κάτω γνάθος, αποτελούν αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνών και χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση διαφορετικών κλινικών καταστάσεων. Οι τάσεις που εμφανίζονται στην κάτω γνάθο, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη λειτουργική συμπεριφορά της γνάθου και μπορούν να χρησιμεύσουν ως παράμετρος για την καλύτερη σταθεροποίηση των μοσχευμάτων. Η απώλεια ενός δοντιού, η θεραπεία με τη χρήση εμφυτευμάτων, η χειρουργική ανακατασκευή της γνάθου αλλάζουν τις φορτίσεις και επηρεάζουν την αρχιτεκτονική των οστών της γνάθου.

Ανατομικά η κάτω γνάθος αποτελείται από το σώμα και τους κλάδους (Βλέπε Εικόνα 1-16). Το σώμα είναι το τμήμα του οστού που βρίσκεται στο κέντρο της γνάθου και συγκρατεί τα κάτω δόντια. Ο κλάδος είναι το δεύτερο τμήμα της κάτω γνάθου, μετά το σώμα, και βρίσκεται δεξιά και αριστερά αυτής.



Εικόνα 1-16 : Σώμα και Κλάδος Κάτω Γνάθου {10}

Κάθε κλάδος έχει δύο αποφύσεις τον κόνδυλο και την κορωνοειδή απόφυση (Βλέπε Εικόνα 1-17). Ο κόνδυλος είναι ένα στρογγυλεμένο άκρο το οποίο αρθρώνεται με το κροταφογναθικό οστό. Η κορωνοειδής απόφυση είναι η λεπτή, τριγωνική εξοχή της κάτω γνάθου όπου παρεμβάλλεται ο κροταφικός μυς.



Εικόνα 1-17 : Κορωνοειδής Απόφυση και Κόνδυλος Κάτω Γνάθου {10}

1.5 Κροταφογναθική διάρθρωση

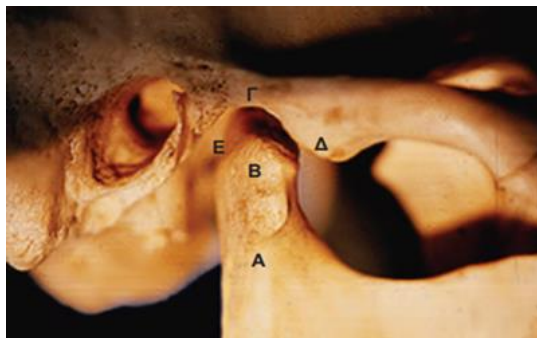
Κροταφογναθική διάρθρωση, είναι η άρθρωση που συνδέει το οστό της κάτω γνάθου με το κρανίο, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-18. Ανατομικά υπάρχουν δύο κροταφογναθικές διαρθρώσεις οι οποίες κατά την κίνηση της γνάθου λειτουργούν ταυτόχρονα. Η λειτουργία της είναι σημαντική αφού βοηθάει στη διαδικασία της μάσησης, της ομιλίας και στις εκφράσεις, όπως το γέλιο ή το χασμουρητό.



Εικόνα 1-18 : Κροταφογναθική Διάρθρωση {11}

Λειτουργικά προσδιορίζεται με την επαφή του κονδύλου της κάτω γνάθου, στην επιφάνεια της κροταφικής γλήνης που εντοπίζεται στο κροταφικού οστού. Μεταξύ των δύο αρθρικών επιφανειών της άρθρωσης παρεμβάλλεται ο δίσκος ή διάρθριος χόνδρος. Ο ρόλος του είναι βοηθητικός προκειμένου να απορροφούνται οι κραδασμοί και να απαλύνονται οι πιέσεις που ασκούνται κατά την κίνηση της γνάθου.

Τα οστικά τμήματα της κροταφογναθικής διάρθρωσης παρουσιάζονται στην Εικόνα 1-19. Αυτά είναι ο αυχέννας του κονδύλου (Α), η κεφαλή του κονδύλου (Β), η κροταφική γλήνη (Γ), το πρόσθιο αρθρικό φύμα (Δ) και ο διάρθριος χώρος (Ε).



Εικόνα 1-19 : Τμήματα Κροταφογναθικής Διάρθρωσης {12}

1.5.1 Κροταφογναθικές διαταραχές

Ο όρος κροταφογναθικές διαταραχές αναφέρεται στα συμπτώματα που σχετίζονται με τον πόνο, την λειτουργική και δομική διαταραχή του στοματογναθικού συστήματος και συγκεκριμένα των αρθρώσεων και των μασητικών μυών. Τα βασικά συμπτώματα που παρουσιάζονται είναι ο πόνος στις αρθρώσεις, ευαισθησία των μυών της σιαγόνας, περιορισμένο άνοιγμα του στόματος και αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζουν μεταξύ τους τα δόντια της άνω και κάτω γνάθου.

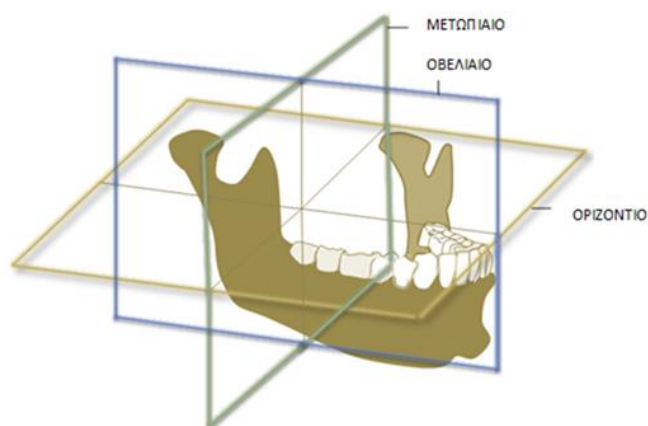
Οι δυνάμεις δόξης δημιουργούνται μέσα από το σύστημα συνεργασίας μεταξύ των μυών και του σαγονιού και επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την αποδοτικότητα των μυών και την ανάπτυξη της μασητικής λειτουργίας. Οι ερευνητές παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τις μέγιστες τιμές των δυνάμεων που μπορούν να παραχθούν, αφού μπορούν να λειτουργήσουν σαν δείκτης προσδιορισμού της λειτουργικής κατάστασης της γνάθου. Ο πόνος που παρουσιάζεται ως αποτέλεσμα των κροταφογναθικών διαταραχών, επηρεάζει και περιορίζει την μέγιστη δύναμη μάσησης, η τιμή της οποίας μπορεί να λειτουργήσει ως ένας σημαντικός παράγοντας για την διάγνωση του προβλήματος.

1.6 Ανάλυση του κύκλου μάσησης

Η μάσηση είναι μια από τις σημαντικότερες διεργασίες που εκτελεί το στοματογναθικό σύστημα. Αποτελεί το αρχικό στάδιο της πέψης των τροφών έχοντας ως ρόλο τον τεμαχισμό της τροφής και την διάλυση της με σάλιο ώστε να σχηματιστεί ο βλωμός. Ως βλωμό θεωρούμε το φαγητό που έχει μασήσει ένα άτομο και έχει αναμειχθεί στο στόμα με το σάλιο. Ο όρος βλωμός ισχύει για τις τροφές μέχρι να φτάσουν στο στομάχι. Από την στιγμή που θα εισέρθουν στο στομάχι και θα αναμειχθούν με τα γαστρικά υγρά, η μάζα της τροφής ονομάζεται χυμός.

Η διαδικασία της μάσησης αποτελεί μια ρυθμική και συντονισμένη κίνηση των χειλιών, της γλώσσας, της άνω και κάτω γνάθου και της έκκρισης σιέλου. Κάθε κίνηση ανοίγματος και κλεισίματος της γνάθου αντιπροσωπεύει έναν κύκλο μάσησης. Η διάρκεια ενός κύκλου μπορεί να προσδιοριστεί από 0,8 έως 1 δευτερόλεπτα, ανάλογα με το είδος της τροφής που έχει εισέλθει στο στόμα. Κατά τη φάση ανοίγματος, η κατάσπαση της κάτω γνάθου μπορεί να φτάσει τα 16 με 20 χιλιοστά.

Οι τρεις φάσεις του κύκλου μάσησης μπορούν να αναπαρασταθούν και γραφικά. Η γραφική αναπαράσταση διαφέρει ανάλογα με το επίπεδο στο οποίο θα μελετηθεί η κίνηση. Τα τρία επίπεδα στα οποία γίνεται η αναπαράσταση των κινήσεων είναι το μετωπιαίο, το οβελιαίο και το οριζόντιο επίπεδο (Βλέπε Εικόνα 1-20).



Εικόνα 1-20 : Επίπεδα Αναπαράστασης Κινήσεων {1}

Το σύνολο των μασητικών κύκλων, η ένταση και η συχνότητα της μάσησης καθορίζονται ανάλογα με το είδος της τροφής. Ο κύκλος μάσησης μπορεί να χωριστεί σε τρεις φάσεις :

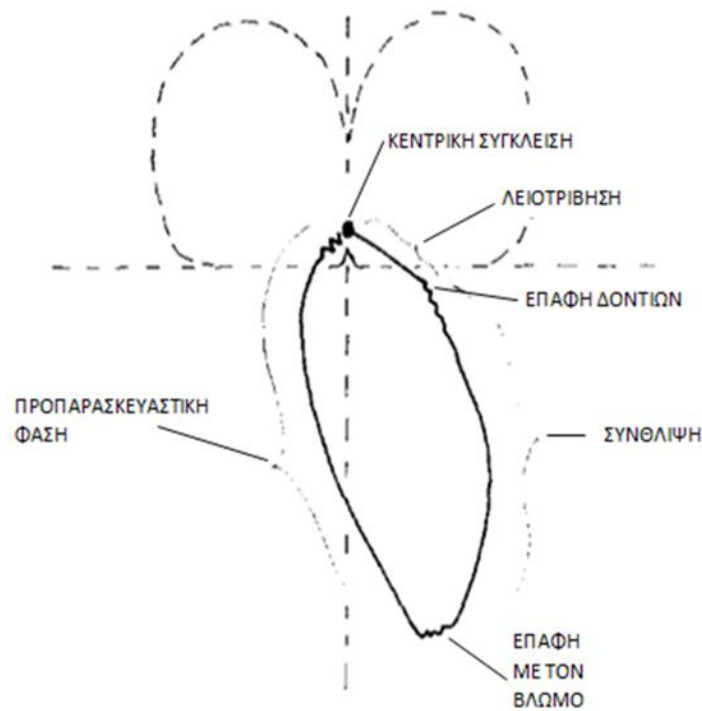
- ✚ Τη φάση διάνοιξης
- ✚ Τη φάση σύνθλιψης
- ✚ Τη φάση σύγκλεισης

ΦΑΣΗ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ : Αποτελεί μια προπαρασκευαστική φάση. Η τροφή έρχεται σε επαφή με τους τομείς, τεμαχίζεται και αρχίζει η κατάσπαση της κάτω γνάθου. Οι κόνδυλοι μετακινούνται προς τα εμπρός και προς τα κάτω. Κατά την διάρκεια αυτής της φάσης έχουμε αδράνεια των μαλακών ιστών και η αμφοτερόπλευρη σύσπαση του έξω πτερυγοειδή μυ φέρει τη γνάθο προς τα εμπρός.

ΦΑΣΗ ΣΥΝΘΛΙΨΗΣ : Σε δεύτερο στάδιο ο τροφή με τη βοήθεια των μυών και της γλώσσας προωθείται στις πίσω περιοχές των δοντιών, προκειμένου να συνθλιβεί. Αρχίζει η ανάσπαση της κάτω γνάθου και τα δόντια που συμμετέχουν σε αυτή τη διαδικασία είναι οι κυνόδοντες και οι προγόμφιοι. Αρχίζουν οι πρώτες επαφές των δοντιών και δημιουργούνται δυνάμεις διάτμησης. Οι κόνδυλοι μετακινούνται προς τα πίσω και οριζόντια. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, ο κροταφίτης μυς είναι αυτός που βοηθάει στη διαδικασία σύνθλιψης της τροφής.

ΦΑΣΗ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ : Στο τελευταίο στάδιο έχουμε τη λειοτρίβηση της τροφής. Το μέγεθος της τροφής που έχει τεμαχιστεί αρχίζει να μειώνεται και να μετατρέπεται σε βλωμό. Στη φάση αυτή, οι επαφές των δοντιών, ξεκινούν από τις μασητικές επιφάνειες των γομφίων και εκτείνονται σε όλα τα δόντια μέχρι το στάδιο της κατάποσης. Έχουμε την εμφάνιση πλευρικών δυνάμεων [13] και την δημιουργία μέγιστων δυνάμεων. Το μεγαλύτερο μέρος της μάσησης, σε αυτό το στάδιο, παράγεται με την συμβολή του μασητήρα μυ.

Η αναπαράσταση του κύκλου μάσησης ως προς το μετωπιαίο επίπεδο αναφοράς, παίρνει το χαρακτηριστικό σχήμα από το “δάκρυ” του ατόμου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-21.



Εικόνα 1-21 : Αναπαράσταση Κύκλου Μάσησης {13}

1.7 Δυνάμεις Δήξης

Ως δύναμη δήξης, ορίζεται η δύναμη που εφαρμόζεται μεταξύ των δοντιών της άνω και κάτω γνάθου από το μασητικό σύστημα κατά τη φάση της οδοντικής σύγκλεισης. Η τιμή της δύναμης διαφέρει ανάλογα με το φύλο, την ηλικία και την περιοχή στην οποία ασκείται.

Η δραστηριότητα των μυών είναι η κύρια αιτία για την παραγωγή των δυνάμεων δήξης. Σημαντικό ρόλο όμως, παίζουν και οι αρθρώσεις αφού μετατοπίζουν τη θέση των δοντιών και της κάτω γνάθου επηρεάζοντας με αυτό τον τρόπο την παραγόμενη δύναμη. Οι δυνάμεις δήξης που παράγονται, δρουν στο οστό της γνάθου σε διαφορετικές κάθε φορά κατευθύνσεις και διαφέρουν ως προς την ένταση, την διάρκεια και την συχνότητα εμφάνισης. Τα είδη των δυνάμεων που δρουν στη στοματική κοιλότητα είναι :

- ✚ Οι κάθετες δυνάμεις, που ασκούνται στον επιμήκη άξονα των δοντιών.
- ✚ Οι (κεκλιμένες) πλευρικές δυνάμεις, που μπορούν να χωριστούν σε κάθετες και οριζόντιες συνιστώσες.

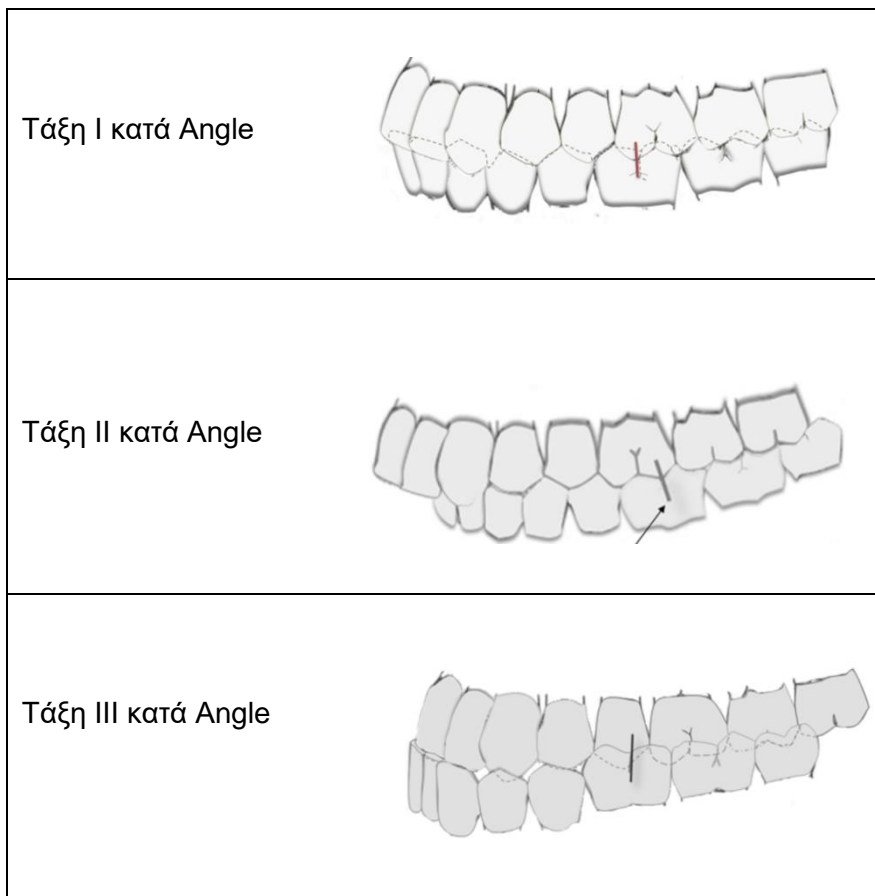
Ο προσδιορισμός των τιμών των δυνάμεων δήξης, χρησιμοποιείται στην οδοντιατρική για τη διάγνωση των διαταραχών του στοματογναθικού συστήματος. Με την κατανόηση του μηχανισμού μάσησης αλλά και των μέγιστων τιμών δύναμης μπορεί να επιτευχθεί η αξιολόγηση των θεραπευτικών επιδράσεων των οδοντικών εμφυτευμάτων μέσω της σύγκρισης, μετά την παρέμβαση της μέγιστης δύναμης στις αναμενόμενες τιμές

1.8 Τάξεις Σύγκλεισης

Ως σύγκλειση ορίζεται η πράξη ή η διαδικασία του κλεισίματος των δοντιών, η στατική σχέση επαφής των κοπτικών ή μασητικών επιφανειών των δοντιών ή και τεχνητών δοντιών.

Το 1907 ο Angle πρότεινε ένα σύστημα συγκλεισιακών σχέσεων για τα δόντια. Το σύστημα του αποτελείται από τρεις τάξεις την τάξη I κατά Angle, την τάξη II κατά Angle και την τάξη III κατά Angle. Οι συγκλεισιακές σχέσεις των σκελετικών τάξεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 1-1.

Πίνακας 1-1 : Συγκλεισιακές Τάξεις



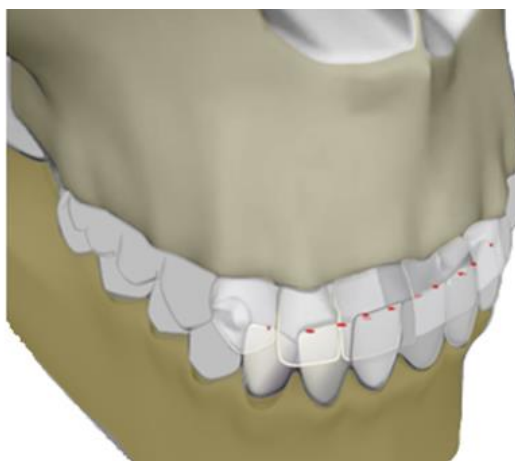
Στη φυσιολογική συγκλεισιακή τάξη I κατά Angle τα υπερώια φύματα έρχονται σε επαφή με τις μασητικές επιφάνειες των προγομφίων και των γομφίων της κάτω γνάθου και τα παρειακά φύματα των κάτω οπίσθιων δοντιών έρχονται σε επαφή με τις μασητικές επιφάνειες των προγομφίων και γομφίων της άνω γνάθου. Τα λειτουργικά φύματα έρχονται σε επαφή αντίστοιχα με τα βοθρία και τις μασητικές αγκάλες των οπίσθιων δοντιών.

Στη συγκλεισιακή τάξη II κατά Angle παρουσιάζεται ανωμαλία σύγκλεισης. Έχουμε πρόταξη της άνω γνάθου με την μεσοπαρειακή αύλακα του πρώτου γομφίου της κάτω γνάθου να βρίσκεται πιο πάνω από το εγγύς παρειακό φύμα του πρώτου γομφίου της άνω γνάθου.

Στην συγκλεισιακή τάξη III κατά Angle παρουσιάζεται ανωμαλία σύγκλεισης που οφείλεται στην πρόταξη των δοντιών της κάτω γνάθου. Η μεσοπαρειακή αύλακα του πρώτου γομφίου της κάτω γνάθου εντοπίζεται πιο μπροστά από το εγγύς παρειακό φύμα του πρώτου γομφίου της άνω γνάθου.

1.8.1 Συγκλεισιακές σχέσεις πρόσθιων δοντιών

Στις επαφές των πρόσθιων δοντιών τα κοπτικά χείλη της κάτω γνάθου έρχονται σε επαφή με τις υπερώιες (γλωσσικές) επιφάνειες των δοντιών της άνω γνάθου. Πιο συγκεκριμένα, οι κεντρικοί τομείς της κάτω γνάθου έρχονται σε επαφή με τις υπερώιες επιφάνειες των κεντρικών τομέων της άνω γνάθου. Οι πλάγιοι τομείς της άνω γνάθου εφάπτονται με τις υπερώιες επιφάνειες των κεντρικών και πλάγιων τομέων της άνω γνάθου. Τα κοπτικά χείλη των κυνοδόντων της κάτω γνάθου συγκλείνουν με τις υπερώιες επιφάνειες των πλάγιων τομέων και των κυνοδόντων της άνω γνάθου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-22.



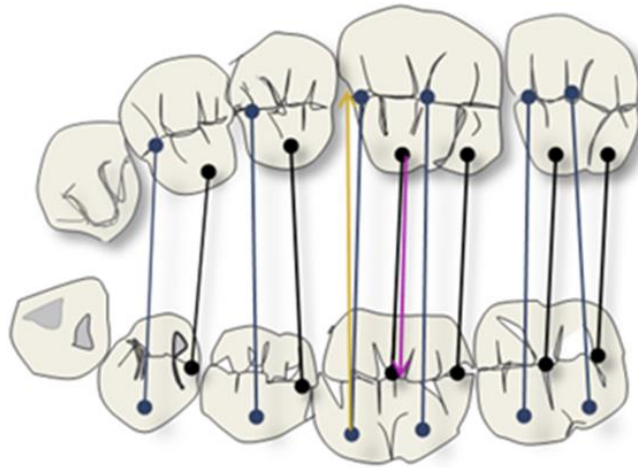
Εικόνα 1-22 : Συγκλεισιακές Σχέσεις Πρόσθιων Δοντιών {1}

1.8.2 Συγκλεισιακές σχέσεις οπίσθιων δοντιών

Στις συγκλεισιακές σχέσεις των οπίσθιων δοντιών παρατηρούνται δύο τύποι συνδυασμών των οδοντικών επαφών, την επαφή φύμα προς βοθρίο και την επαφή φύμα προς μασητική αγκάλη, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-23.

Οι επαφές μεταξύ των δοντιών είναι σημειακές. Αυτό σημαίνει ότι είτε μια επαφή μπορεί να πραγματοποιηθεί με την κορυφή του φύματος να εφάπτεται στον πυθμένα του βοθρίου είτε να υπάρχουν τρία σημεία επαφής του φύματος που θα εφάπτονται με τα τοιχώματα του βοθρίου.

Στην επαφή φύματος προς βοθρία, το φύμα έρχεται σε επαφή με το βοθρίο του ανταγωνιστή. Στην επαφή φύματος προς μασητική αγκάλη, τα φύματα των δοντιών έρχονται σε επαφή με τις μασητικές αγκάλες των δύο ανταγωνιστών δοντιών.

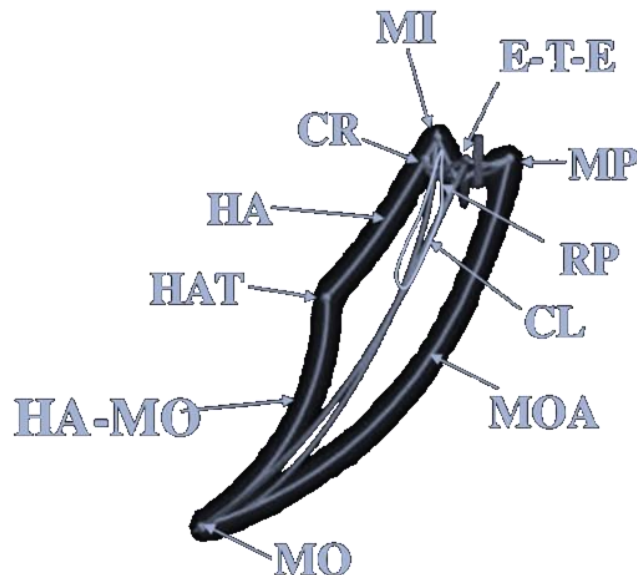


Εικόνα 1-23 : Συγκλεισιακές Σχέσεις Οπίσθιων Δοντιών {1}

1.9 Κινηματική της γνάθου

Οι κροταφογναθικές διαρθρώσεις επιτρέπουν την ικανότητα κίνησης τόσο ως προς την περιστροφή όσο και ως προς την μετατόπιση της κάτω γνάθου. Δημιουργείται με αυτό τον τρόπο μια σύνθετη και τρισδιάστατη κίνηση στο χώρο. Οι κινήσεις της κάτω γνάθου είναι η κατάσπαση, η ανάσπαση, η πλαγιολίσθηση, η προολίσθηση και η οπισθολίσθηση.

Το 1952 ο Dr. Ulf. Posselt ήταν από τους πρώτους που περιέγραψε το τρισδιάστατο μοντέλο κίνησης της κάτω γνάθου, γνωστό και ως φάκελος κίνησης (Βλέπε Εικόνα 1-24). Κατέγραψε τον συνδυασμό των οριακών συνθηκών κίνησης της γνάθου στο μετωπιαίο, οβελιαίο και οριζόντιο επίπεδο.



Εικόνα 1-24 : Φάκελος Κίνησης Posselt {15}

Τα σημεία της Εικόνα 1-24 αναλύονται παρακάτω :

MI : Θέση μέγιστης συναρμογής (Maximum Intercuspatation)

E-T-E : Σχέση κοππική προς κοππική (Edge To Edge Incisal)

MP : Σημείο μέγιστης προολίσθησης (Maximum Protrusion Point)

RP: Θέση ανάπαυσης (Rest Position)

CL: Βρόχος μάσησης (Chewing Loop)

MOA: Μέγιστο τόξο κατάσπασης (Maximum Opening Arc)

MO : Σημείο μέγιστης κατάσπασης (Maximum Opening Point)

HA-MO : Μέγιστη κατάσπαση του γίγγλυμου άξονα (Hinge Axis to Maximum Opening)

HAT: Τελικό σημείο του γίγγλυμου άξονα (Hinge Axis Terminating Point)

HA: Τόξο του γίγγλυμου άξονα (Hinge Axis Arc)

CR: Κεντρική σχέση (centric relation)

Οι παραδοχές που υπάρχουν στην ανάλυση είναι οι εξής :

- ✚ Η επιφάνεια της άνω γνάθου καθορίζεται από τις επαφές μεταξύ των δοντιών.
- ✚ Για κάθε άτομο, ο φάκελος κίνησης διαφέρει αλλά παραμένει στο ίδιο χαρακτηριστικό σχήμα.
- ✚ Οι σύνδεσμοι, οι αρθρικές επιφάνειες των κροταφογναθικών αρθρώσεων και η μορφολογία των δοντιών, είναι οι παράγοντες που καθορίζουν τα υπόλοιπα “σύνορα” κίνησης του μοντέλου.

Οι θέσεις αναφοράς της κάτω γνάθου είναι οι ακόλουθες :

- ✚ Κεντρική σχέση (Centric Relation)
- ✚ Θέση ανάπαυσης (Rest Position)
- ✚ Θέση μέγιστης συναρμογής (Maximum Intercuspatation / Intercuspal Position)
- ✚ Θέση κεντρικής σύγκλεισης (Centric Occlusion)

ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΣΧΕΣΗ: Είναι η θέση της γνάθου στην οποία οι κόνδυλοι βρίσκονται σε μία συμμετρική θέση μέσα στις γλύνες. Κατά τη φάση κατάσπασης, οι κόνδυλοι μπορούν μόνο να περιστραφούν. Δεν μπορούν να ολισθαίνουν και η θέση τους είναι πλέον οπίσθια. Η κεντρική σχέση είναι μια σχέση γνάθων και όχι δοντιών, αφού το μέσο οβελιαίο επίπεδο της κάτω γνάθου ταυτίζεται με αυτό της άνω γνάθου.

ΘΕΣΗ ΑΝΑΠΑΥΣΗΣ : Είναι η φυσιολογική θέση της κάτω γνάθου στην οποία μεταξύ των δοντιών υπάρχει μια απόσταση που ονομάζεται ελεύθερος μεσοφραγματικός χώρος.

ΘΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ : Στην θέση παρουσιάζεται ο μέγιστος αριθμός οδοντικών επαφών μεταξύ των δοντιών της άνω και κάτω γνάθου. Κατά τη σχέση αυτή, οι κόνδυλοι βρίσκονται σε πρόσθια και κατώτερη θέση. Είναι η θέση στην οποία επιστρέφει η κάτω γνάθος μετά το τέλος του μασητικού κύκλου.

ΘΕΣΗ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ : Είναι η σχέση μεταξύ των δοντιών της άνω και κάτω γνάθου, όταν βρισκόμαστε στη θέση κεντρικής σχέσης. Η θέση αυτή μπορεί να συμπίπτει και με τη θέση μέγιστης συναρμογής.

2. Μελέτη Δυνάμεων Δήξης

2.1 Σκοπός της εργασίας

Η κίνηση της κάτω γνάθου είναι ένα σύστημα συνεργασίας τριών παραγόντων, των δοντιών, των μυών και των αρθρώσεων. Κατά τη διάρκεια της δήξης, παράγονται δυνάμεις από τους μύες και δυνάμεις αντίδρασης μεταξύ των δοντιών που έρχονται σε επαφή και μεταφέρονται στις κροταφογναθικές αρθρώσεις. Ως αποτέλεσμα, η κάτω γνάθος μπορεί να υποστεί παραμόρφωση εξαιτίας αυτών των φορτίων. 'Ανοιγμένη' παραμόρφωση ενός δοντιού ορίζεται ως η αναλογία της μεταβολής του μήκους ως προς το αρχικό παραμορφωμένο μήκος. Ακόμη και η ελάχιστη μεταβολή στην παραμόρφωση μπορεί να διαφοροποιήσει τη λειτουργία του συστήματος.

Οι πληροφορίες που αφορούν τις δυνάμεις που παράγονται κατά τη λειτουργία της γνάθου είναι σπάνιες στη βιβλιογραφία. Υπάρχει έλλειψη σχετικά με την φύση των δυνάμεων που δρουν και αναπτύσσονται. Τα σημεία, η κατεύθυνση και το μέγεθος των τιμών αλλάζει συνεχώς ανάλογα με την θέση που βρίσκεται κάθε φορά η γνάθος. Τα δεδομένα για τις δυνάμεις μπορούν να ληφθούν από τις προσομοιώσεις σε μηχανικά μοντέλα ή να ληφθούν έμμεσα από μετρήσεις σε ανθρώπους.

Στη βιβλιογραφία, η μέγιστη δύναμη δήξης αντιστοιχίζεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών. Η διακύμανση των τιμών οφείλεται στην ανατομία και στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά του ατόμου που εξετάζεται, όπως είναι η οδοντιατρική κατάσταση, η ηλικία, το φύλλο, η γεωμετρία της γνάθου και η περιοδοντική στήριξη των δοντιών. Σημαντικό ρόλο στις μετρήσεις έχουν και μηχανολογικοί παράγοντες, όπως η θέση των συσκευών καταγραφής στο οδοντικό τόξο, η αμφίπλευρη ή μονόπλευρη μέτρηση. Οι δυνάμεις που μπορούν να εμφανιστούν χωρίζονται σε δύο κατηγορίες στα γραμμικά φορτία και στα γωνιακά φορτία. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε δυνάμεις συμπίεσης και διάτμησης και στην δεύτερη περίπτωση έχουμε δυνάμεις στρέψης και κάμψης.

Στην οδοντιατρική, η αξιολόγηση των μέγιστων τιμών των δυνάμεων δήξης θεωρείται σημαντική για την κατανόηση του μηχανισμού μάσησης, προκειμένου να προσδιορισθούν οι θεραπευτικές επιπτώσεις από τη χρήση ορθοδοντικών συσκευών και να πραγματοποιηθεί έλεγχος για την διάγνωση των διαταραχών του στοματογναθικού συστήματος. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων του στοματογναθικού συστήματος, όπως η αποκατάσταση των δοντιών, οι κροταφογναθικές διαταραχές, η δυσλειτουργία της γνάθου και τα οδοντικά εμφυτεύματα μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των ατόμων. Η έγκυρη διάγνωση και η θεραπεία αυτών των παθολογιών βασίζεται, κατά κύριο λόγο, στη γνώση της λειτουργίας του μηχανισμού μάσησης. Η πιο συχνή μεταβλητή που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της λειτουργίας του μηχανισμού μάσησης είναι η μέγιστη δύναμη δήξης.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι υπολογισμού αυτών των δυνάμεων με όργανα που βασίζουν τη λειτουργία τους στη χρήση ηλεκτρονικών αντιστάσεων. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι για την μέτρηση των δυνάμεων είναι τα φύλλα πίεσης, οι μετρητές τάσης και οι πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες. Οι τιμές που μπορούν να

καταγράψουν έχουν εύρος από 50-800 N και ακρίβεια περίπου 80%. Για την μελέτη των συστημάτων γίνεται τα τελευταία χρόνια χρήση τρισδιάστατων μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων. Η μοντελοποίηση με τη χρήση τρισδιάστατων πεπερασμένων στοιχείων είναι μια υπολογιστική μέθοδος που βασίζεται στην ανάλυση των τάσεων και των παραμορφώσεων της κατασκευής σε συγκεκριμένη γεωμετρία. Η μοντελοποίηση βοηθάει στην περαιτέρω κατανόηση των συστημάτων αλλά και στην υπόθεση και εξέταση σεναρίων για κλινικές μελέτες και χειρουργικές αποκαταστάσεις. Ωστόσο εξαιτίας της πολυπλοκότητας της ανατομίας δεν είναι εύκολος ο καθορισμός των μηχανικών φορτίσεων με την ανάπτυξη ρεαλιστικών μοντέλων.

Η μελέτη του μασητικού συστήματος είναι λειτουργικά και ανατομικά σύνθετη. Αποτελείται από ένα σύστημα μυών το οποίο αλληλεπιδρά και παράγει δυνάμεις οι οποίες περιορίζονται μεταξύ των αρθρώσεων, των ιστών και των οδοντικών επαφών. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής, είναι να προσδιορίσει τα μέγιστα δυναμικά φορτία δήξης κατά τη διάρκεια του κύκλου μάσησης, σε όλα τα δόντια της κάτω γνάθου και να παρουσιάσει τα αποτελέσματα σε ένα μοντέλο, της κάτω γνάθου, με την Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων. Οι μέγιστες δυνάμεις δήξης εμφανίζονται όταν η κάτω γνάθος βρίσκεται στη θέση μέγιστης συναρμογής. Σε αυτή τη θέση εμφανίζονται και μέγιστες επαφές μεταξύ των επιφανειών δοντιών της άνω γνάθου και των δοντιών της κάτω γνάθου.

Τα στοιχεία για τις μέγιστες αυτές τιμές, θα παρθούν μέσα από βιβλιογραφικές έρευνες που επικεντρώνονται στη μελέτη του κύκλου μάσησης για τη συλλογή διαφόρων αποτελεσμάτων, όπως των αναπτυσσόμενων φορτίων που εμφανίζονται στα δόντια ή των επιφανειών σύγκλεισης που δημιουργούνται κατά την διάρκεια επαφών. Για κάθε δόντι της κάτω γνάθου, θα επιλεγεί η μέγιστη τιμή της δύναμης δήξης από τα αποτελέσματα των ερευνών. Με τον ίδιο τρόπο θα γίνει και η επιλογή της τιμής για την επιφάνεια σύγκλεισης σε κάθε δόντι ξεχωριστά.

Οι κύριες προϋποθέσεις που πρέπει να ισχύουν ώστε να επιλεγούν οι τιμές των δυνάμεων και των επιφανειών από τις μελέτες είναι :

- ✓ η κάτω γνάθος να βρίσκεται στη φάση μέγιστης συναρμογής, για να έχουμε σίγουρα τα μέγιστα αποτελέσματα.
- ✓ οι συμμετέχοντες στις έρευνες είναι άτομα υγιή που παρουσιάζουν φυσιολογική συγκλεισιακή τάξη I κατά Angle.

Για να μπορέσουμε να αναπαραστήσουμε ολοκληρωμένα ένα μοντέλο που βρίσκεται στη φάση μέγιστης συναρμογής, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί και η διάρκεια του χρόνου στον οποίο εμφανίζεται η συγκεκριμένη φάση κατά τη διαδικασία της μάσησης. Για κάθε δόντι της κάτω γνάθου, προσδιορίστηκε ο ακριβής χρόνος εμφάνισης κάθε σημείου πάνω στην συγκλεισιακή επιφάνεια του.

Επομένως για κάθε δόντι έχουν συγκεντρωθεί τα παρακάτω δεδομένα :

- ✓ Η μέγιστη δύναμη δήξης.
- ✓ Η μέγιστη επιφάνεια σύγκλεισης.
- ✓ Ο χρόνος εμφάνισης κάθε σημείου στην συνολική επιφάνεια σύγκλεισης.

2.2 Προσδιορισμός μέγιστων δυνάμεων δήξης

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι δυνάμεις δήξης δημιουργούνται από την συνδυασμένη δράση των δοντιών της άνω και κάτω γνάθου κατά τη διάρκεια της σύγκλεισης. Ο υπολογισμός των δυνάμεων δήξης, έχει μεγάλη απήχηση στον τομέα της οδοντιατρικής και χρησιμοποιείται στην κατανόηση του μηχανισμού μάσησης, την εκτίμηση των προσθετικών συσκευών και την αξιολόγηση των θεραπευτικών τους αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα των δυνάμεων δήξης διαφέρουν σε πολλές μετρήσεις, αφού επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως η μέθοδος μέτρησης και τα βιολογικά χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων.

Οι τιμές των μέγιστων δυνάμεων παρουσιάζουν διαφορές ως προς το μέγεθος, όταν οι μετρήσεις γίνονται σε άνδρες και γυναίκες. Η εμφάνιση υψηλότερων τιμών στο ανδρικό φύλο, οφείλεται στις ανατομικές διαφορές. Οι μασητήρες στους άνδρες είναι μεγαλύτεροι σε διάμετρο και σε διατομή, επομένως η τιμή της δύναμης δήξης αυξάνεται πιο γρήγορα στους άνδρες από ότι στις γυναίκες. Οι χαμηλότερες τιμές δυνάμεων σχετίζονται και με την ηλικία. Η διαδικασία γήρανσης οδηγεί στην απώλεια της μυϊκής δραστηριότητας και συνεπώς στην μείωση της δύναμης δήξης.

Η θέση των συσκευών καταγραφής επηρεάζει, με την σειρά της, τους διαφορετικούς μύες που εμπλέκονται στη διαδικασία μάσησης. Η τοποθέτηση των συσκευών καταγραφής στην πρόσθια θέση της κάτω γνάθου, ενεργοποιεί τον μασητήρα και των έσω πτερυγοειδή μυ, οι οποίοι θα συμβάλλουν περισσότερο στην προσπάθεια καταγραφής. Παρόμοια, η τοποθέτηση συσκευής καταγραφής στην οπίσθια θέση της κάτω γνάθου, θα συμβάλλει στην ενεργοποίηση του κροταφίτη μυ. Το αποτέλεσμα είναι να εφαρμοστούν μεγαλύτερες δυνάμεις στα οπίσθια δόντια και να υπάρξουν μεγαλύτερες επιφάνειες σύγκλεισης [16].

Οι μύες της κάτω γνάθου πρέπει να δημιουργούν μια μονόπλευρη δύναμη δήξης ίση με την δύναμη δήξης που επιτυγχάνεται κατά την αμφίπλευρη μέτρηση [16]. Ο Van Eijden [16] αναφέρει πως από τις μονόπλευρες μετρήσεις, δημιουργούνται ασύμμετρες φορτίσεις, έτσι οι δυνάμεις από την πλευρά μέτρησης θα εμφανίσουν υψηλότερες τιμές. Ενώ για να αποφευχθεί η βλάβη στα δόντια από την πλευρά μη μάσησης, η αναστολή της μυϊκής δραστηριότητας θα εμποδίσει την παραγωγή ισχυρών δυνάμεων δήξης για να διατηρηθεί η ισορροπία στο σύστημα.

Κάθε μυς παράγει μια συγκεκριμένη δύναμη, με μια συγκεκριμένη χωρική κατεύθυνση. Διαφορετικοί συνδυασμοί ενεργοποίησης μεταξύ των μυών, οδηγούν σε μια συνισταμένη δύναμη διαφορετική κάθε φορά σε μέγεθος και κατεύθυνση. Η τιμή του μεγέθους τους εξαρτάται από την θέση της γνάθου κάθε χρονική στιγμή. Οι μέγιστες δυνάμεις δήξης εντοπίζονται στη θέση της κεντρικής σύγκλεισης. Σε αυτή τη θέση, υπάρχει μια μέγιστη αλληλεπίδραση μεταξύ των φυμάτων των δοντιών της άνω και κάτω γνάθου και εμφανίζονται οι μέγιστες επαφές, στις συγκλεισιακές επιφάνειες μεταξύ των ανταγωνιστών δοντιών.

Οι δυνάμεις δήξης μπορούν να παραχθούν σε πλευρικές και κάθετες κατευθύνσεις. Οι κάθετες δυνάμεις, ορίζονται ως οι δυνάμεις που δρουν κάθετα στο συγκλεισιακό επίπεδο των δοντιών της άνω και κάτω γνάθου. Οι πλευρικές δυνάμεις αναλύονται ως κατακόρυφες συνιστώσες κάθετες στο συγκλεισιακό επίπεδο και ως οριζόντιες συνιστώσες παράλληλες στο συγκλεισιακό επίπεδο.

Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες για τον προσδιορισμό των μέγιστων δυνάμεων δήξης, των φυσικών οδοντοστοιχιών. Τα αποτελέσματα ωστόσο, είναι δύσκολο να συγκριθούν εξαιτίας των διαφορετικών τεχνικών καταγραφής και των χαρακτηριστικών των ασθενών, όπως το φύλο ή η ηλικία. Η μελέτη των κάθετων δυνάμεων δήξης, καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας, αφού οι πλευρικές δυνάμεις παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές σε σχέση με τις κάθετες δυνάμεις. Η μέγιστη τιμή της κάθετης δύναμης δήξης που έχει υπολογιστεί φτάνει τα 800 N [17]. Οι πλευρικές δυνάμεις, παρουσιάζουν μικρότερες τιμές και συνήθως το μέγεθος τους κυμαίνεται γύρω στα 20 N [17]. Τα μεγέθη των δυνάμεων δήξης, είναι υψηλότερα στα οπίσθια δόντια και μικρότερα στα πρόσθια δόντια. Η περιοχή των γομφίων και συγκεκριμένα των πρώτων γομφίων, είναι αυτή που παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές των μέγιστων δυνάμεων δήξης για την οδοντοστοιχία.

Οι δυνάμεις που μελετήθηκαν στην εργασία, αφορούν τις μέγιστες δυνάμεις δήξης που αναπτύσσονται στην περιοχή των τομέων, του κυνόδοντα, των δύο προγομφίων και των τριών γομφίων της κάτω γνάθου. Τα άτομα που συμμετείχαν στις έρευνες είχαν φυσική οδοντοστοιχία (σε μερικές μελέτες υπήρχε απουσία των τρίτων γομφίων), φυσιολογική σύγκλιση τάξης I κατά Angle και δεν παρουσίαζαν προβλήματα δυσλειτουργίας στην κάτω γνάθο.

2.3 Προσδιορισμός μέγιστων κάθετων δυνάμεων δήξης

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τον B.K.Biswas, S.Bag and S.Pal [17], μελετήθηκαν οι μέγιστες κάθετες δυνάμεις που ασκούνται στο συγκλεισιακό επίπεδο. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε και σε άνδρες και σε γυναίκες και αφορούσε και τις δύο πλευρές της κάτω γνάθου. Η δύναμη δήξης εφαρμόστηκε στο άκρο ενός ειδικά διαμορφωμένου συστήματος μεταγωγής, μέσω μιας διάταξη σωλήνων πολυαιθυλενίου μίας χρήσης. Στην περιοχή των τομέων εμφανίστηκαν δυνάμεις με μέσο όρο 193 N, ενώ στην περιοχή των γομφίων η μέση τιμή της δύναμης αντιστοιχίζεται στα 350 N. Στους Πίνακες 2-1 έως 2-3 παρουσιάζονται οι μετρήσεις για τις περιοχές των πρόσθιων και οπίσθιων δοντιών και για τις δύο πλευρές της κάτω γνάθου αντίστοιχα.

Πίνακας 2-1 : Υπολογισμός Μέγιστης Δύναμης Δήξης (σε N) για τους Κεντρικούς (I_c) και Πλάγιους (I_L) Τομείς και για τους Κυνόδοντες (C). Όπου L: η αριστερή πλευρά της κάτω γνάθου, R: η δεξιά πλευρά της κάτω γνάθου, A: αρσενικό φύλο, Θ: θηλυκό φύλο [17]

ΑΤΟΜΑ Θ/Α-ΗΛΙΚΙΑ	$I_{c,L}$	$I_{c,R}$	$I_{L,L}$	$I_{L,R}$	C_L	C_R
Θ-55	111	119	130	145	145	137
Θ-53	220	180	240	253	275	263
A-64	265	260	230	180	250	269
A-55	188	181	139	142	162	174
A-65	193	210	150	189	200	190
A-57	250	265	252	265	265	272
A-54	123	132	202	214	193	201
A-56	199	218	160	172	254	272
A-58	190	200	230	225	250	265
Θ-55	154	167	221	232	235	251
ΕΥΡΟΣ	189,3	193,2	195,4	201,7	222,9	229,4
SD	49,71	48,10	46,02	24,87	45,05	49,47

Πίνακας 2-2: Υπολογισμός Μέγιστης Δύναμης Δήξης (σε N) για τον Πρώτο (PM1) και Δεύτερο Προγόμφιο(PM2) . Όπου L: η αριστερή πλευρά της κάτω γνάθου, R: η δεξιά πλευρά της κάτω γνάθου [17]

ΑΤΟΜΑ Θ/Α –ΗΛΙΚΙΑ	PM1 _L	PM1 _R	PM2 _L	PM2 _R
Θ-55	223	235	255	278
Θ-53	305	340	326	355
A-64	224	243	320	339
A-55	280	270	315	295
A-65	262	245	250	264
A-57	321	337	271	295
A-54	311	322	223	205
A-56	370	348	255	264
A-58	232	240	226	242
Θ-55	302	314	325	330
ΕΥΡΟΣ	283	289,4	276,6	286,7
SD	48,04	46,94	41,16	46,18

Πίνακας 2-3 : Υπολογισμός Μέγιστης Δύναμης Δήξης (σε N) για τον Πρώτο (M1), Δεύτερο (M2) και Τρίτο (M3) Γομφίο. Όπου L: η αριστερή πλευρά της κάτω γνάθου και R: η δεξιά πλευρά της κάτω γνάθου [17]

ΑΤΟΜΑ Θ/Α –ΗΛΙΚΙΑ	M1 _L	M1 _R	M2 _L	M2 _R	M3 _L	M3 _R
Θ-55	280	290	276	281	286	303
Θ-53	329	315	308	322	310	325
A-64	285	291	307	296	324	353
A-55	390	392	381	385	374	380
A-65	312	295	293	297	299	313
A-57	340	352	381	380	340	350
A-54	335	345	360	375	350	342
A-56	350	336	362	352	343	367
A-58	350	357	322	325	331	356
Θ-55	345	332	358	352	362	360
ΕΥΡΟΣ	331,6	330,5	334,8	336,5	331,9	344,9
SD	32,62	33,15	38,07	37,76	27,74	24,36

Την κατανομή της δύναμης στη φάση σύγκλεισης προσπάθησε να υπολογίσει και ο Kumagai [18]. Τα μεγέθη των τιμών δήξης υπολογίστηκαν με τη χρήση του Dental Prescale System. Ένα σύστημα ικανό να ποσοτικοποιεί τα δεδομένα των αναλύσεων για τις δυνάμεις και τις τιμές των επιφανειών σύγκλεισης κατά την επαφή των δοντιών. Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν πέντε φορές για καθένα από τα 16 άτομα που συμμετείχαν στην έρευνα. Η μέγιστη τιμή δήξης, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2-4 αντιστοιχίζεται για ποσοστό άσκησης δύναμης 100%, το ίδιο ισχύει και για την επιφάνεια σύγκλεισης. Η κατεύθυνση των δυνάμεων ορίζεται κάθετα στο επίπεδο σύγκλεισης.

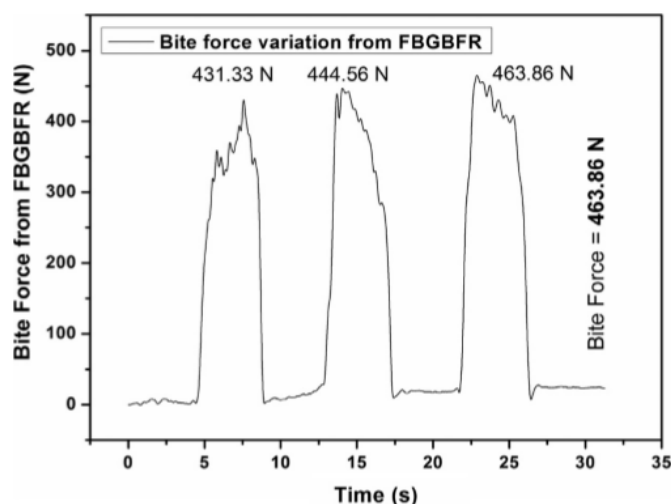
Πίνακας 2-4 : Μέση Τιμή των Μέγιστων Δυνάμεων Δήξης με τη Χρήση του Dental Prescale System για Επίπεδο Δήξης 100% [18]

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΥΝΑΜΗΣ ΔΗΞΗΣ 100% (N)
ΔΕΞΙΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	365,2
ΔΕΞΙΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	64,5
ΠΡΟΣΘΙΑ ΔΟΝΤΙΑ	65,3
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	353,4
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	56,9

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δείχνουν ότι στην περιοχή των γομφίων εμφανίζονται τα μέγιστα μεγέθη των μέγιστων τιμών δήξης. Το ίδιο ισχύει ωστόσο και για τις επιφάνειες, καθώς η συγκλεισιακή επιφάνεια των γομφίων είναι η μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες επιφάνειες των δοντιών.

Σε μελέτη που έγινε από τον Sharath Umesh [19], υπολογίστηκαν οι μέγιστες δυνάμεις δήξης κατά τη φάση σύγκλεισης με την χρήση της μεθόδου FBG. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 36 άτομα, άνδρες και γυναίκες, ηλικίας 24-35 χρονών. Για τις μετρήσεις των δυνάμεων, πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις στη θέση σύγκλεισης κι ως μέγιστη τιμή επιλέχθηκε η δύναμη που ανταποκρινόταν στο μεγαλύτερο μέγεθος που προέκυπτε από τα αποτελέσματα. Οι υπολογισμοί αφορούσαν και τη δεξιά και την αριστερή πλευρά της κάτω γνάθου.

Για παράδειγμα, στο Διάγραμμα 2-1 φαίνονται οι τρεις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για έναν άνδρα στην περιοχή των προγομφίων συναρτήσει του χρόνου. Οι δυνάμεις που καταγράφηκαν για αυτή τη θέση στις τρεις επαναλήψεις είχαν μέγεθος 431,33 N, 444,56 N και 463,86 N αντίστοιχα. Ως μέγιστη τιμή ορίζεται η δύναμη των 463,86 N στην περιοχή των προγομφίων για το συγκεκριμένο άτομο.



Διάγραμμα 2-1 : Καταγραφή Δυνάμεων Δήξης για την Περιοχή των Προγομφίων σε Άνδρα [19]

Για καθένα από τα 36 άτομα που πήραν μέρος στην έρευνα, η μέγιστη τιμή της δύναμης υπολογίστηκε κατά αυτό τον τρόπο. Οι δυνάμεις ήταν μεγαλύτερες στους άνδρες σε σχέση με τις γυναίκες και σχεδόν συμμετρικές για τις δύο πλευρές τις οδοντοστοιχίας. Τα συνολικά αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-5 και στον Πίνακα 2-6, αφορούν τη μέση τιμή των μέγιστων και ελάχιστων τιμών δήξης που εμφανίζονται και αναφέρονται ξεχωριστά για τους άνδρες και για τις γυναίκες.

Πίνακας 2-5 : Τιμές Μέγιστων και Ελάχιστων Δυνάμεων Δήξης με τη Χρήση της Μεθόδου FBG [19]

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΑΝΔΡΕΣ			
	ΕΥΡΟΣ (N)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΥΝΑΜΗ (N)	SD
ΔΕΞΙΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	635	744	497	65
ΔΕΞΙΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	371	464	318	34
ΔΕΞΙΟΣ ΤΟΜΕΑΣ	266	320	205	38
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	624	721	513	64
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	359	424	301	38
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΤΟΜΕΑΣ	259	309	212	26

Πίνακας 2-6 : Τιμές Μέγιστων και Ελάχιστων Δυνάμεων Δήξης με τη Χρήση της Μεθόδου FBG [19]

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΓΥΝΑΙΚΕΣ			
	ΕΥΡΟΣ (N)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΜΗ (N)	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΔΥΝΑΜΗ (N)	SD
ΔΕΞΙΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	513	602	417	61
ΔΕΞΙΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	309	356	234	36
ΔΕΞΙΟΣ ΤΟΜΕΑΣ	176	212	152	19
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	537	613	465	58
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	302	345	245	28
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΤΟΜΕΑΣ	189	224	156	20

Από τα αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η περιοχή των γομφίων είναι αυτή που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη καταπόνηση και για τα δύο φύλλα. Γενικότερα, στα οπίσθια δόντια οι δυνάμεις είναι μεγαλύτερες σε μέγεθος από ότι στα πρόσθια δόντια. Η συνολική μέση τιμή που αφορά την αριστερή και δεξιά πλευρά της κάτω γνάθου παρουσιάζεται στον Πίνακα 2-7.

Πίνακας 2-7 : Μέση Τιμή των Μέγιστων Δυνάμεων Δήξης στην Δεξιά και Αριστερή Πλευρά της Οδοντοστοιχίας με τη Μέθοδο FBG [19].

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΔΕΞΙΑ ΠΛΕΥΡΑ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ	ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΛΕΥΡΑ ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΥ
ΓΟΜΦΙΟΙ	673 N	667 N
ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΙ	410 N	384,5 N
ΤΟΜΕΙΣ	266 N	266,5 N

Τα μεγέθη των μέγιστων δυνάμεων δήξης έχουν καταγραφεί σημειώνοντας και υψηλότερες τιμές όσον αφορά την περιοχή των γομφίων και των προγομφίων. Σύμφωνα με τον J.H.Koolstral et al.[20], οι μέγιστες δυνάμεις δήξης που ασκούνται κάθετα στο συγκλεισιακό επίπεδο είναι 515 N για την περιοχή των πρώτων προγομφίων και 681 N για την περιοχή των πρώτων γομφίων. Οι τιμές υπολογίστηκαν με την βοήθεια υπολογιστικού μοντέλου και στην έρευνα συμμετείχε ένας άνδρας ηλικίας 65 χρονών.

2.4 Μέγιστες κάθετες δυνάμεις τομέων

Η μέγιστη τιμή της κάθετης δύναμης δήξης που προκύπτει για τους κεντρικούς (I_c) και πλάγιους (I_L) τομείς παρουσιάζεται στον Πίνακα 2-8. Παρουσιάζεται επίσης και η τιμή της μέγιστης κάθετης δύναμης δήξης, που αναφέρεται στην περιοχή των πρόσθιων δοντιών [18] και των τομέων (I) [20] γενικότερα όσον αφορά την άσκηση της δύναμης δήξης.

Στον Πίνακα 2-8, περιλαμβάνονται και στοιχεία όπως η ηλικία, το φύλο (Α: αρσενικό, Θ: θηλυκό) και ο αριθμός των συμμετεχόντων για καλύτερη ακρίβεια των τιμών των δυνάμεων.

Πίνακας 2-8 : Μέγιστες Κάθετες Δυνάμεις Τομέων

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΗΛΙΚΙΑ	ΦΥΛΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΕΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ΔΗΞΗΣ [N]	ΑΝΑΦΟΡΑ
I_c	50-65	A/Θ	15	193,2	[17]
I_L	50-65	A/Θ	15	201,7	[17]
I	23,2	A/Θ	16	65,3	[18]
I	24-35	A/Θ	36	266,5	[19]

2.5 Μέγιστες κάθετες δυνάμεις κυνοδόντων

Η μέγιστη τιμή της κάθετης δύναμης δήξης που προκύπτει για τους κυνοδόντες παρουσιάζεται στον Πίνακα 2-9. Παρουσιάζεται επίσης και η τιμή της μέγιστης κάθετης δύναμης δήξης, που αναφέρεται γενικότερα στην περιοχή των κυνοδόντων (C) [18] όσον αφορά την άσκηση της δύναμης δήξης.

Στον Πίνακα 2-9, περιλαμβάνονται και στοιχεία όπως η ηλικία, το φύλο (Α: αρσενικό, Θ: θηλυκό) και ο αριθμός των συμμετεχόντων για καλύτερη ακρίβεια των τιμών των δυνάμεων.

Πίνακας 2-9 : Μέγιστες Κάθετες Δυνάμεις Κυνοδόντων

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΗΛΙΚΙΑ	ΦΥΛΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΕΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ΔΗΞΗΣ [N]	ΑΝΑΦΟΡΑ
C	50-65	A/Θ	15	229,4	[17]
C	23,2	A/Θ	16	65,3	[18]

2.6 Μέγιστες κάθετες δυνάμεις προγομφίων

Η μέγιστη τιμή της κάθετης δύναμης δήξης που προκύπτει για τον πρώτο προγόμφιο (PM1) και δεύτερο προγόμφιο (PM2) παρουσιάζεται στον Πίνακα 2-10. Παρουσιάζεται επίσης και η τιμή της μέγιστης κάθετης δύναμης δήξης, που αναφέρεται γενικότερα στην περιοχή των προγομφίων (PM) [18] όσον αφορά την άσκηση της δύναμης δήξης.

Στον Πίνακα 2-10, περιλαμβάνονται και στοιχεία όπως η ηλικία, το φύλο (Α: αρσενικό, Θ: θηλυκό) και ο αριθμός των συμμετεχόντων για καλύτερη ακρίβεια των τιμών των δυνάμεων.

Πίνακας 2-10 : Μέγιστες Κάθετες Δυνάμεις Προγομφίων

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΗΛΙΚΙΑ	ΦΥΛΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΕΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ΔΗΞΗΣ [N]	ΑΝΑΦΟΡΑ
PM1	50-65	Α/Θ	15	289,4	[17]
PM1	65	Α	1	515	[20]
PM2	50-65	Α/Θ	15	286,7	[17]
PM	23,2	Α/Θ	16	64,5	[18]
PM	24-35	Α/Θ	36	410	[19]

2.7 Μέγιστες κάθετες δυνάμεις γομφίων

Η μέγιστη τιμή της κάθετης δύναμης δήξης που προκύπτει για τον πρώτο γομφίο (M1), δεύτερο γομφίο (M2) και τρίτο γομφίο (M3) παρουσιάζεται στον Πίνακα 2-11. Παρουσιάζεται επίσης και η τιμή της μέγιστης κάθετης δύναμης δήξης, που αναφέρεται γενικότερα στην περιοχή των γομφίων (M) [18] όσον αφορά την άσκηση της δύναμης δήξης.

Στον Πίνακα 2-11, περιλαμβάνονται και στοιχεία όπως η ηλικία, το φύλο (Α: αρσενικό, Θ: θηλυκό) και ο αριθμός των συμμετεχόντων για καλύτερη ακρίβεια των τιμών των δυνάμεων.

Πίνακας 2-11 : Μέγιστες Κάθετες Δυνάμεις Γομφίων

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΗΛΙΚΙΑ	ΦΥΛΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΘΕΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ΔΗΞΗΣ [N]	ΑΝΑΦΟΡΑ
M1	50-65	A/Θ	15	331,6	[17]
M1	65	A	1	681	[20]
M2	50-65	A/Θ	15	336,5	[17]
M3	50-65	A/Θ	15	344,9	[17]
M	23,2	A/Θ	16	365,2	[18]
M	24-35	A/Θ	36	673	[19]

2.8 Συνολικά αποτελέσματα μέγιστων κάθετων δυνάμεων δήξης

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τις μέγιστες δυνάμεις δήξης, είναι δύσκολο να συγκριθούν μεταξύ τους εξαιτίας των διαφορετικών μεθόδων μέτρησης και των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε πείραμα, όσον αφορά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των συμμετεχόντων. Οι τιμές των μέγιστων κάθετων δυνάμεων δήξης δεν είναι ίδιες για κάθε τύπο δοντιών στην αριστερή και δεξιά πλευρά της οδοντοστοιχίας. Για παράδειγμα, η μέγιστη τιμή κάθετης δύναμης δήξης που θα εμφανιστεί στην αριστερή πλευρά της οδοντοστοιχίας για τους πρώτους γομφίους, δεν θα είναι ίδια με αυτήν που θα εμφανιστεί όταν η μέτρηση γίνει στην δεξιά πλευρά της οδοντοστοιχίας για τους πρώτους γομφίους.

Επομένως, είναι δύσκολο να καταλήξουμε σε μια συγκεκριμένη τιμή δύναμης που να αντιπροσωπεύει πιστά τα αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτό, η παρουσίαση των μέγιστων κάθετων δυνάμεων δήξης αναπαρίσταται ως εύρος για κάθε τύπο δοντιού αλλά και για κάθε δόντι ξεχωριστά, για την δεξιά και την αριστερή πλευρά της οδοντοστοιχίας.

Η φάση της μέγιστης συναρμογής, είναι η θέση όπου οι κάθετες δυνάμεις που αναπτύσσονται κατευθύνονται κατά μήκος ή παράλληλα στον κεντρικό άξονα του δοντιού. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι τα μέγιστα μεγέθη των δυνάμεων δήξης εμφανίζονται στην περιοχή των οπίσθιων δοντιών. Πιο συγκεκριμένα στην περιοχή των πρώτων γομφίων και έπειτα στην περιοχή των πρώτων προγομφίων.

Στον Πίνακα 2-12, αναφέρονται τα εύρη των μέγιστων κάθετων δυνάμεων δήξης και για τις δύο πλευρές της οδοντοστοιχίας για κάθε τύπο δοντιών.

Πίνακας 2-12 : Εύρος των Μέγιστων Δυνάμεων Δήξης για Κάθε Τύπο Δοντιών

ΤΥΠΟΙ ΔΟΝΤΙΩΝ	ΔΕΞΙΑ ΠΛΕΥΡΑ ΟΔΟΝΤΟΣΟΙΧΙΑΣ	ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΛΕΥΡΑ ΟΔΟΝΤΟΣΟΙΧΙΑΣ	ΑΝΑΦΟΡΑ
ΤΟΜΕΙΣ	65,3 έως 266 N	65,3 έως 266,5 N	[18],[19]
ΚΥΝΟΔΟΝΤΕΣ	65,3 N	65,3 N	[18]
ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΙ	64,5 έως 410 N	56,9 έως 384,5 N	[18],[19]
ΓΟΜΦΙΟΙ	365,2 έως 673 N	353,4 έως 667 N	[18],[19]

Στον Πίνακα 2-13, αναφέρονται τα εύρη των μέγιστων κάθετων δυνάμεων δήξης και για τις δύο πλευρές της οδοντοστοιχίας σε κάθε δόντι ξεχωριστά.

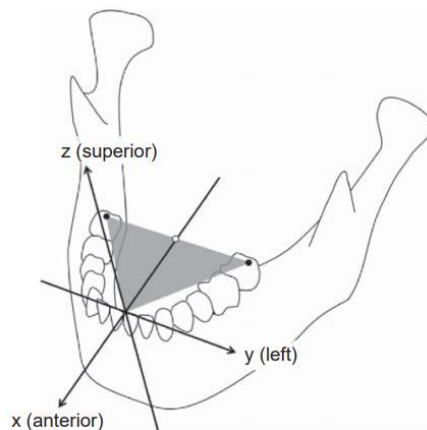
Πίνακας 2-13 : Εύρος των Μέγιστων Δυνάμεων Δήξης για Κάθε Δόντι Ξεχωριστά. I_c : ο κεντρικός τομέας της κάτω γνάθου, I_L : ο πλευρικός τομέας της κάτω γνάθου, C: ο κυνόδοντας της κάτω γνάθου, PM1: ο πρώτος προγόμφιος της κάτω γνάθου, PM2: ο δεύτερος προγόμφιος της κάτω γνάθου, M1: ο πρώτος γομφίος της κάτω γνάθου, M2: ο δεύτερος γομφίος της κάτω γνάθου και M3: ο τρίτος γομφίος της κάτω γνάθου

ΤΥΠΟΙ ΔΟΝΤΙΩΝ	ΔΕΞΙΑ ΠΛΕΥΡΑ ΟΔΟΝΤΟΣΟΙΧΙΑΣ	ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΛΕΥΡΑ ΟΔΟΝΤΟΣΟΙΧΙΑΣ	ΑΝΑΦΟΡΑ
I_c	193,2 N	189,3 N	[17]
I_L	201,7 N	195,4 N	[17]
C	229,4 N	222,9 N	[17]
PM1	289,4 έως 515 N	283 έως 515 N	[17],[20]
PM2	286,7 N	276,6 N	[17]
M1	330,5 έως 681 N	331,6 έως 681 N	[17],[20]
M2	336,5 N	334,8 N	[17]
M3	344,9 N	331,9 N	[37]

2.9 Προσδιορισμός μέγιστων πλευρικών- κεκλιμένων δυνάμεων δήξης

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Y.Hattori et al. [21] τα μεγέθη των δυνάμεων δήξης καταγράφηκαν με τη χρήση φύλλων πίεσης. Η μέθοδος μέτρησης με φύλλα πίεσης χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την πίεση που ασκείται σε μια επιφάνεια. Η τιμή της πίεσης προκύπτει από την σάρωση των μεμβρανών μέσω μιας αναβαθμισμένης συσκευής σάρωσης και ανάλογα με το χρώμα την κηλίδων που εμφανίζονται στη μεμβράνη παίρνουμε τις απαιτούμενες τιμές. Η τοποθεσία και το σχήμα των κηλίδων που εμφανίστηκαν στη μεμβράνη συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες περιοχές καταγραφής ώστε να αναγνωριστούν τα σημεία των επαφών σύγκλεισης. Τα σημεία επαφών που εξήχθησαν από την σάρωση, απεικονίστηκαν γραφικό σε ένα τρισδιάστατο υπολογιστικό μοντέλο.

Στην έρευνα συμμετείχαν 30 άτομα ηλικίας 18 -23 χρονών. Τα άτομα που πήραν μέρος είχαν φυσική οδοντοστοιχία και κανονική σύγκλειση Angle Class I. Για την απεικόνιση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, το κέντρο του οποίου τοποθετήθηκε στο σημείο επαφής των κεντρικών τομέων της κάτω γνάθου. Το επίπεδο x-y συμπίπτει με το συγκλεισιακό επίπεδο. Το συγκλεισιακό επίπεδο αναπαριστάται ως τρίγωνο, του οποίου οι δύο κορυφές βρίσκονται στα άνω παρειακά φύματα των δεύτερων γομφίων και η τρίτη κορυφή βρίσκεται στο κέντρο του συστήματος συντεταγμένων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-1. Ο άξονας x περνάει από το μέσο της ένωσης των δύο φυμάτων. Στο μέσο της ένωσης υπάρχει ένας άξονας «κλειδί» όπως ονομάζεται, που ελέγχει τις κατευθύνσεις των δυνάμεων.



Εικόνα 2-1: Καρτεσιανό Σύστημα Συντεταγμένων που Χρησιμοποιείται στην Απεικόνιση των συγκλεισιακών Δυνάμεων {16}

Για κάθε συγκλεισιακή επαφή, το μέγεθος της μέγιστης πλευρικής δύναμης παρουσιάζεται ως μια μέση τιμή των συνολικών πλευρικών δυνάμεων που ασκούνται ξεχωριστά σε κάθε τύπο δοντιού. Η τιμή της, αντιπροσωπεύει μια μέση συνισταμένη δύναμη. Η μέση κλίση του άξονα «κλειδί» για όλες τις δυνάμεις είναι $89,2^\circ$ ως προς το μετωπιαίο επίπεδο και $84,6^\circ$ ως προς το οβελιαίο επίπεδο. Τα μεγέθη των δυνάμεων δήξης που δρουν κατά τις συγκλεισιακές επαφές αναφέρονται στον Πίνακα 2-14.

Πίνακας 2-14 : Μέγιστη Πλευρική/Κεκλιμένη Δύναμη Δήξης [21]

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΗΛΙΚΙΑ	ΦΥΛΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΔΗΞΗΣ [N]	ΑΝΑΦΟΡΑ
ΠΡΟΣΘΙΑ ΔΟΝΤΙΑ	18-23	Α/Θ	30	14,5	[21]
ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΙ	18-23	Α/Θ	30	16,1	[21]
ΓΟΜΦΙΟΙ	18-23	Α/Θ	30	35,1	[21]

3. Μελέτη Επιφανειών Σύγκλεισης

Η γνώση των τιμών της επιφάνειας σύγκλεισης, είναι χρήσιμη για την σωστή διάγνωση της συγκλεισιακής κατάστασης των ασθενών, την έγκυρη διάγνωση των δυσλειτουργιών της κάτω γνάθου και την θεραπεία της. Οι κλινικές και πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι συγκλεισιακές επαφές παίζουν σημαντικό ρόλο στο σύστημα μάσησης. Το μέγεθος των τιμών των επιφανειών εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα των επιφανειών των δοντιών, το ύψος των φυμάτων, το επίπεδο σύγκλεισης και την ποσότητα τριβής ή περιστροφής μεταξύ των δοντιών [41].

Η θέση των επαφών ευθύνεται για την ευθυγράμμιση και την σταθεροποίηση της θέσης της κάτω γνάθου. Όταν τα δόντια βρίσκονται στη φάση σύγκλεισης αυξάνεται ο αριθμός των συγκλεισιακών επαφών. Η κατανομή των επιφανειών σύγκλεισης των δοντιών είναι παρόμοια με την επιφάνεια που καταλαμβάνουν οι δυνάμεις σύγκλεισης. Όσο αυξάνεται η δύναμη που ασκείται στις επιφάνειες των δοντιών, τόσο μεγαλώνει και η συγκλεισιακή επιφάνεια. Οι επαφές είναι μέγιστες όταν τα δόντια βρίσκονται στην φάση κεντρικής σύγκλεισης. Η περιοχή των πρώτων γομφίων είναι αυτή που παρουσιάζει τις μέγιστες επιφάνειες σύγκλεισης.

3.1 Προσδιορισμός μέγιστων επιφανειών σύγκλεισης

Η τιμή της επιφάνειας σύγκλεισης από τον Kumagai [18], παρουσιάζεται στον Πίνακα 3-1. Μελετώντας τις μέγιστες κάθετες δυνάμεις δήξης που ασκούνται στη φάση μέγιστης συναρμογής προσπάθησε να προσδιορίσει και τις αντίστοιχες συγκλεισιακές επιφάνειες για κάθε τύπο δοντιού. Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι μέγιστες επιφάνειες, όταν η δύναμη δήξης ασκείται πλήρως, βρίσκονται στην επιφάνεια των πρώτων γομφίων αφού εκεί ασκούνται και τα μεγαλύτερα φορτία.

Πίνακας 3-1: Μέση Τιμή των Μέγιστων Επιφανειών Δήξης στην Δεξιά και Αριστερή Πλευρά της Οδοντοστοιχίας με τη Μέθοδο FBG Δύναμη Δήξης 100% [18]

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΥΝΑΜΗΣ ΔΗΞΗΣ 100% (mm ²)
ΔΕΞΙΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	10
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	9,5
ΠΡΟΣΘΙΑ ΔΟΝΤΙΑ	1,8
ΔΕΞΙΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	1,7
ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	1,5

Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τον Algirdas Yurkstas [22], κατασκευάστηκε ένα όργανο μέτρησης για τον υπολογισμό των συγκλεισιακών επαφών. Το όργανο αποτελούνταν από μια ειδική λωρίδα κεριού την οποία οι συμμετέχοντες δάγκωναν σε θέση κεντρικής σύγκλεισης. Τα γαλβανόμετρο που περιείχε η συσκευή μετρούσε την συνολική ποσότητα φωτός που περνούσε μέσα από την συσκευή και την απέδιδε σε τετραγωνικά χιλιοστά την επιφάνεια της περιοχής σύγκλεισης.

Στην έρευνα συμμετείχαν 50 άτομα και οι μετρήσεις αφορούσαν τις περιοχές σύγκλισης των οπίσθιων δοντιών της άνω και κάτω γνάθου. Από τις παρατηρήσεις που εξήχθησαν πάρθηκε ότι οι επιφάνειες σύγκλισης της άνω και κάτω γνάθου είναι παρόμοιες και δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η κατανομή των συγκλεισιακών επιφανειών για τους γομφίους και προγομφίους αναλύεται στον Πίνακα 3-2.

Πίνακας 3-2 : Συγκλεισιακές Επιφάνειες Οπίσθιων Δοντιών Κάτω Γνάθου [22]

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΑΤΟΜΑ	ΕΥΡΟΣ (mm ²)
ΠΡΩΤΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	99	3,6
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	90	5,4
ΠΡΩΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	79	16,4
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	93	12,5
ΤΡΙΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	39	6,9

Προφανώς, ο πρώτος γομφίος θα εμφανίζει την μεγαλύτερη επιφάνεια σύγκλισης από οποιοδήποτε άλλο δόντι. Για μια πλήρη οδοντοστοιχία, ο πρώτος γομφίος αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό 36,7 % της συνολικής επιφάνειας σύγκλισης. Η επόμενη μεγαλύτερη είναι του δεύτερου γομφίου με ποσοστό 27,9 % και ακολουθούν ο τρίτος γομφίος, ο δεύτερος προγόμφιος και ο πρώτος προγόμφιος με ποσοστά 15,4 %, 12,9 % και 8,1 % της συνολικής επιφάνειας σύγκλισης αντίστοιχα.

Οι Howell και Brudevold [23], προσπάθησαν να προσδιορίσουν τις επιφάνειες σύγκλισης με την χρήση μετρητών τάσης. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν φαίνονται στον Πίνακα 3-3 και αναφέρονται για έναν άνδρα ηλικίας 48 χρονών.

Πίνακας 3-3 : Περιοχή Συγκλεισιακών Επαφών σε mm² [23]

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΠΑΦΗΣ (mm ²)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (%)
ΠΡΩΤΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	3,5	14,6
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	6,5	27,1
ΠΡΩΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	14	58,3

3.2 Συνολικά αποτελέσματα μέγιστων επιφανειών σύγκλεισης

Και στην περίπτωση των επιφανειών σύγκλεισης, επειδή οι μέθοδοι προσδιορισμού είναι διαφορετικές και απευθύνονται σε διαφορετικές ομάδες πληθυσμού, καθίσταται δύσκολος ο προσδιορισμός της ακριβής τιμής για την συγκλεισιακή επιφάνεια. Για το λόγο αυτό, είναι προτιμότερο να αναφερθούμε σε ένα εύρος που ανταποκρίνεται στον προσδιορισμό των μέγιστων τιμών των επιφανειών σύγκλεισης, για κάθε τύπο δοντιού και για κάθε δόντι ξεχωριστά.

Στην περίπτωση των επιφανειών σύγκλεισης, οι τιμές για την δεξιά και αριστερή πλευρά της οδοντοστοιχίας παρουσιάζουν ελάχιστες αποκλίσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί οι συμμετέχοντες παρουσίαζαν φυσιολογική σύγκλειση. Οι επιφάνειες των επαφών σύγκλεισης είναι ίδιες για την αριστερή και δεξιά πλευρά της οδοντοστοιχίας, οι αποκλίσεις οφείλονται κυρίως στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων που παρουσιάζει η χρησιμοποιούμενη μέθοδος.

Στον Πίνακα 3-4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις τιμές των μέγιστων επιφανειών σύγκλεισης από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν.

Πίνακας 3-4 : Αποτελέσματα Μέγιστων Επιφανειών Σύγκλεισης για τα Δόντια της Κάτω Γνάθου. Όπου, I : Τομείς, C : Κυνόδοντες, PM1: Πρώτος Προγόμφιος, PM2: Δεύτερος Προγόμφιος, PM: Προγόμφιοι, M1 : Πρώτος Γομφίος, M2: Δεύτερος Γομφίος ,M3 : Τρίτος Γομφίος και M: Γομφίοι

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ (mm ²)	ΑΝΑΦΟΡΑ
I - C	1,8	[18]
PM1	3,5	[23]
PM1	3,6	[22]
PM2	6,5	[23]
PM2	5,4	[22]
PM	1,7	[18]
M1	14	[23]
M1	16,4	[22]
M2	12,5	[22]
M3	6,9	[22]
M	10	[18]

Κατά τη διάρκεια της σύγκλεισης υπάρχει αμφίπλευρη σταθερότητα μεταξύ των μασητικών επαφών. Το εύρος των μέγιστων επιφανειών σύγκλεισης κατά την διάρκεια της δήξης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-5.

Πίνακας 3-5 : Εύρος των Μέγιστων Επιφανειών Σύγκλεισης για τα Δόντια της Κάτω Γνάθου

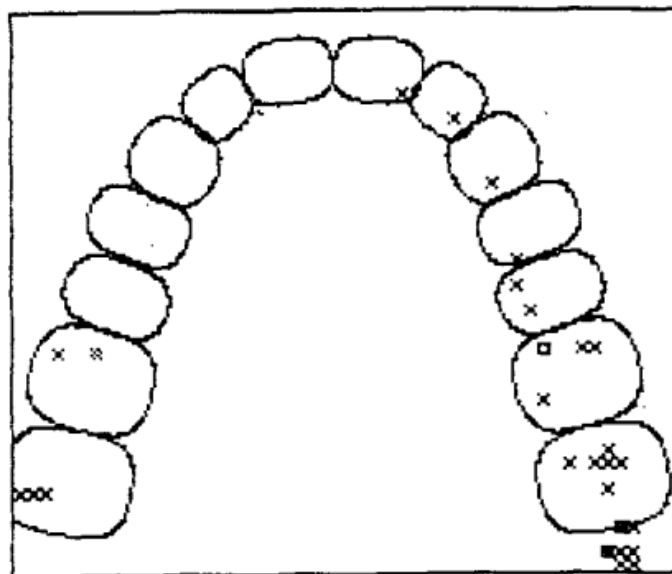
ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ (mm ²)	ΑΝΑΦΟΡΑ
ΤΟΜΕΙΣ	1,8	[18]
ΚΥΝΟΔΟΝΤΕΣ	1,8	[18]
ΠΡΩΤΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	3,5 έως 3,6	[23],[22]
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	5,4 έως 6,5	[22],[23]
ΠΡΩΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	14 έως 16,4	[23],[22]
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	12,5	[22]
ΤΡΙΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	6,9	[22]

4. Μελέτη του Χρόνου Επαφών

Ο υπολογισμός του χρόνου επαφής των δοντιών, κατά τη διάρκεια της σύγκλεισης, έγινε με την βοήθεια των αποτελεσμάτων από έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τον Jae-Ho Yang [24]. Στη μελέτη έγινε χρήση του ψηφιακού συστήματος ανάλυσης T-Scan System σε ασθενείς με φυσιολογική οδοντοστοιχία. Η ανάλυση του χρόνου, μας έδωσε πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία και την αλληλουχία των συγκλεισιακών επαφών κατά τη φάση μέγιστης συναρμογής.

Οι χρόνοι των επαφών, υποδεικνύονται με την εμφάνιση κάθε φορά διαφορετικών συμβόλων πάνω στις συγκλεισιακές επιφάνειες. Η πρώτη επαφή αρχίζει να μετράται πάντα από μηδενικό χρόνο. Η δεύτερη επαφή συμβαίνει στα 0,01 δευτερόλεπτα και η τρίτη επαφή σε χρόνο 0,02 δευτερόλεπτα. Για τις τελευταίες επαφές δεν υπάρχει τιμή που να αναφέρεται στο χρονικό διάστημα επαφών. Ωστόσο, σύστημα T- Scan, επιτρέπει την καταγραφή των συγκλεισιακών επαφών και παρέχει λεπτομερή στοιχεία για τον προσδιορισμό του χρόνου και των τιμών των δυνάμεων, χάρη στην ακρίβεια που παρέχει ο αισθητήρας. Γνωρίζουμε ότι ο αισθητήρας είναι κατασκευασμένος από δύο στρώματα φιλμ που τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο για να σχηματίσουν ένα σχέδιο πλέγματος. Όταν ασκείται πίεση στο πλέγμα η ροή του ρεύματος που περνάει από αυτό αυξάνεται. Ως επαφή, αναγνωρίζεται ένα ελάχιστο επίπεδο ρεύματος με τιμή 70 μA το οποίο κυλάει στους αισθητήρες κάθε 0,01 δευτερόλεπτα. Επομένως, η αλληλουχία του χρόνου των επαφών, μπορεί να προσδιοριστεί με προσαύξηση κάθε φορά 0,01 δευτερολέπτων από την προηγούμενη επαφή [25]. Άρα η τελευταία επαφή συμβαίνει 0,01 δευτερόλεπτα μετά από την τρίτη επαφή, δηλαδή σε χρόνο 0,03 δευτερόλεπτα.

Στην Εικόνα 4-1, παρουσιάζεται η αλληλουχία του χρόνου επαφών των δοντιών σε κάθε σημείο της άνω γνάθου. Η πρώτη επαφή συμβολίζεται με ■, η δεύτερη επαφή συμβολίζεται με ❖, η τρίτη επαφή συμβολίζεται με □ και η τέταρτη επαφή συμβολίζεται με ✕.



Εικόνα 4-1 : Αναπαράσταση της Αλληλουχίας του Χρόνου Επαφών των Δοντιών της Άνω Γνάθου {17}

Οι χρόνοι επαφών, αναφέρονται στα σημεία της άνω γνάθου, όμως μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι ίδιοι και για τα αντίστοιχα σημεία σύγκλεισης της κάτω γνάθου. Για να μπορέσουμε να βρούμε τα σημεία σύγκλεισης της κάτω γνάθου με την άνω γνάθο, θα πρέπει να γίνει η σωστή αντιστοίχιση των σημείων επαφής. Σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με τον τύπο των οδοντικών επαφών (οπίσθιες ή πρόσθιες επαφές), θα προσδιοριστούν τα σημεία της άνω γνάθου, σύμφωνα με τις επαφές των δοντιών για φυσιολογική σύγκλειση και θα γίνει η αντιστοίχιση των σημείων επαφής με αυτά της κάτω γνάθου.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι επαφές υπολογίστηκαν προσεγγιστικά. Είναι δύσκολο να προσδιορίσουμε τα ακριβή σημεία διότι δεν εμφανίζονται οι μορφολογικές επιφάνειες των δοντιών. Επειδή ο χρόνος αναφέρεται σε σημεία της άνω γνάθου, τα παρειακά σημεία δεν θα ληφθούν υπόψη διότι δεν συμμετέχουν στη διαδικασία της σύγκλεισης.

4.1 Υπολογισμός χρόνου στα οπίσθια δόντια

Τα σημεία επαφών για τα οπίσθια δόντια, δίνονται από την σκελετική τάξη I κατά Angle (Βλέπε Εικόνα 1-23). Παρατηρούμε δύο τύπους οδοντικών επαφών :

 Την επαφή φύμα προς βοθρίο.

 Την επαφή φύματος προς μασητική αγκάλη.

Στην επαφή φύμα προς βοθρίο, κάθε κεντρικό φύμα έρχεται σε επαφή με το αντίστοιχο κεντρικό βοθρίο του ανταγωνιστή. Στην επαφή φύματος προς μασητική αγκάλη, τα κεντρικά φύματα έρχονται σε επαφή με το μεσοδόντιο τριγωνικό διάστημα δύο προκείμενων ανταγωνιστών δοντιών. Στους φυσικούς οδοντικούς φραγμούς υπάρχει συνδυασμός των δύο τύπων οδοντικών επαφών. Σε μια φυσιολογική σύγκλειση σκελετικής τάξης I κατά Angle, τα λειτουργικά φύματα της άνω και κάτω γνάθου έρχονται σε επαφή με τα αντίστοιχα βοθρία ή μασητικές αγκάλες. Τα υπερώια φύματα της άνω γνάθου έρχονται σε επαφή με τις μασητικές επιφάνειες των γομφίων και των προγομφίων της κάτω γνάθου και τα παρειακά φύματα της κάτω γνάθου έρχονται σε επαφή με τις μασητικές επιφάνειες των προγομφίων και των γομφίων της άνω γνάθου.

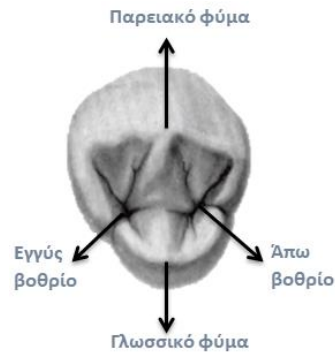
Τα σημεία επαφών, θα υπολογιστούν για κάθε τύπο δοντιών ξεχωριστά. Έτσι θα οριστούν οι επαφές πρώτα για τους προγόμφιους και έπειτα για τους γομφίους. Για να προσδιορίσουμε τις επαφές στα οπίσθια δόντια θα ακολουθήσουμε τα παρακάτω βήματα :

ΒΗΜΑ 1 : Αριθμούμε και ταξινομούμε τα σημεία επαφών των οπίσθιων δοντιών της Εικόνας 1-23.

ΒΗΜΑ 2 : Ταυτίζουμε τα σημεία της Εικόνας 1-23 με τα σημεία της Εικόνας 4-1.

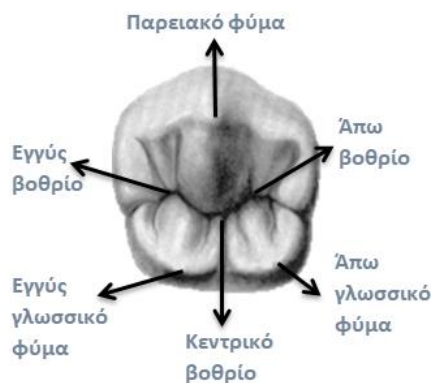
ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΙ

Ο πρώτος προγόμφιος της κάτω γνάθου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-2, αποτελείται από δύο φύματα, το ογκώδες παρειακό και το γλωσσικό, και δυο βοθρία, το εγγύς και το άπω βοθρίο .



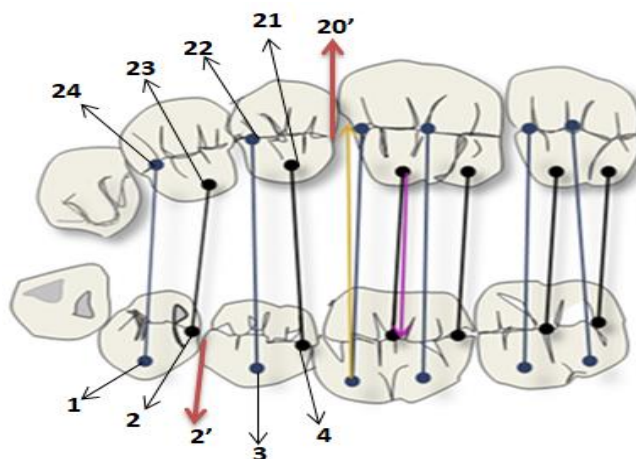
Εικόνα 4-2 : Ανάλυση Πρώτου Προγομφίου {18}

Ο δεύτερος προγόμφιος της κάτω γνάθου, ανάλογα με τον αριθμό των φυμάτων διακρίνεται σε τρεις τύπους. Ο πιο συχνά απαντώμενος τύπος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-3, αποτελείται από τρία φύματα, το παρειακό, το εγγύς και άπω γλωσσικό, και τρία βοθρία, το εγγύς, το κεντρικό και το άπω βοθρίο.



Εικόνα 4-3 : Ανάλυση Δεύτερου Προγομφίου {19}

Από την Εικόνα 4-4, τα σημεία 1, 2, 2', 3 και 4 ανήκουν στην κάτω γνάθο και τα σημεία 20', 21, 22, 23 και 24 ανήκουν στην άνω γνάθο. Στον Πίνακα 4-1 ορίζεται η ονομασία των σημείων σύγκλεισης για τους προγόμφιους ως εξής :

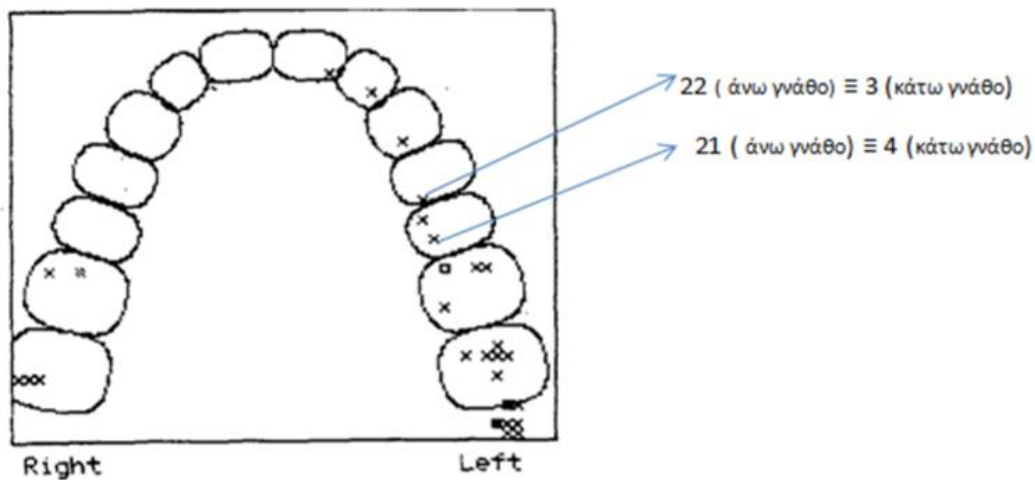


Εικόνα 4-4 : Σημεία Επαφών στους Προγομφίους {1}

Πίνακας 4-1: Ονομασία Σημείων Επαφών στους Προγομφίους

ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΣ	ΑΝΩ ΓΝΑΘΟΣ
Σημείο 1 : Παρειακό Φύμα Πρώτου Προγομφίου	Σημείο 24 : Μασητική Αγκάλη μεταξύ του Πρώτου Προγομφίου και Κυνόδοντα
Σημείο 2 : Μασητική Αγκάλη Μεταξύ του Πρώτου και Δεύτερου Προγομφίου	Σημείο 23 : Υπερώιο Φύμα Πρώτου Προγομφίου
Σημείο 2' : Μασητική Αγκάλη Μεταξύ του Πρώτου και Δεύτερου Προγομφίου	Σημείο 22 : Μασητική Αγκάλη Μεταξύ του Πρώτου και Δεύτερου Προγομφίου
Σημείο 3 : Παρειακό Φύμα Δεύτερου Προγομφίου	Σημείο 21 : Υπερώιο Φύμα Δεύτερου Προγομφίου
Σημείο 4 : Μασητική Αγκάλη Μεταξύ του Δεύτερου Προγομφίου και Πρώτου Προγομφίου	Σημείο 20' : Μασητική Αγκάλη Μεταξύ του Δεύτερου Προγομφίου και Πρώτου Προγομφίου

Αφού οριστούν τα σημεία επαφών, θα πρέπει να εντοπιστούν τα σημεία της άνω γνάθου όπου παρουσιάζονται οι χρόνοι επαφής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-5.

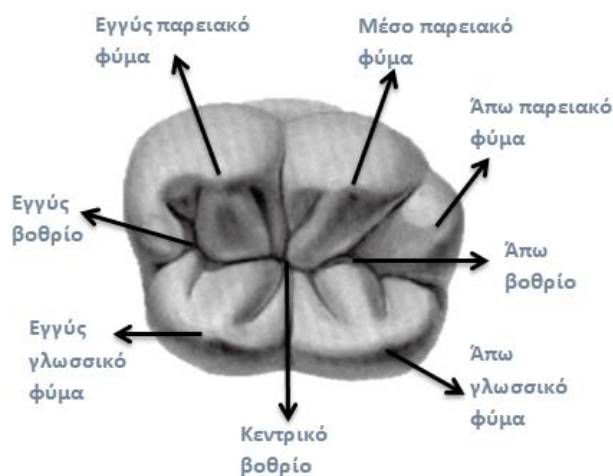


Εικόνα 4-5 : Χρόνοι Επαφής στους Προγομφίους {17}

Οι χρόνοι επαφής για τα σημεία της άνω γνάθου είναι οι ίδιοι και για τα σημεία της κάτω γνάθου. Επομένως, γνωρίζουμε ότι σε χρόνο 0,03 δευτερόλεπτα έχουμε επαφή για στο παρειακό φύμα του δεύτερου γομφίου και στην μασητική αγκάλη μεταξύ του δεύτερου προγόμφιου και του πρώτου γομφίου της κάτω γνάθου. Τα δεδομένα δεν ήταν επαρκή για να ορίσουν ακριβώς τα σημεία για τον πρώτο προγόμφιο της κάτω γνάθου, όμως επειδή η επαφές στα γειτονικά δόντια συμβαίνουν στα 0,03 δευτερόλεπτα, η επαφή στον πρώτο γομφίο θα συμβαίνει στο ίδιο χρονικό διάστημα.

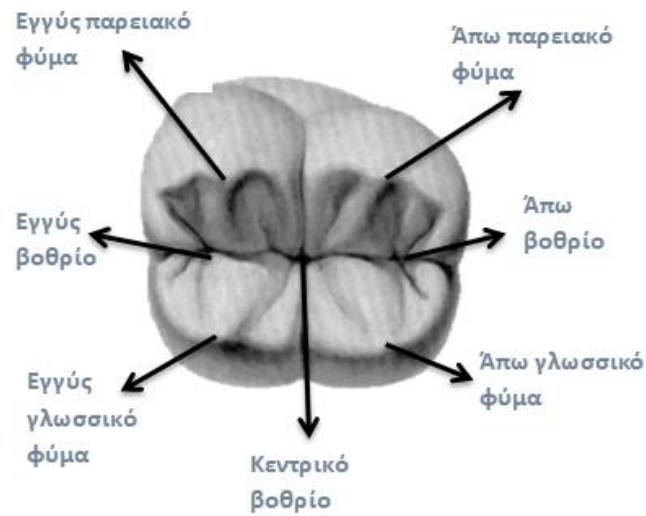
ΓΟΜΦΙΟΙ

Ο πρώτος γομφίος της κάτω γνάθου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-6, αποτελείται από πέντε φύματα, τρία παρειακά (εγγύς, μέσο και άπω) και δύο γλωσσικά (εγγύς και άπω) και τρία βοθρία, το εγγύς, το κεντρικό και το άπω.



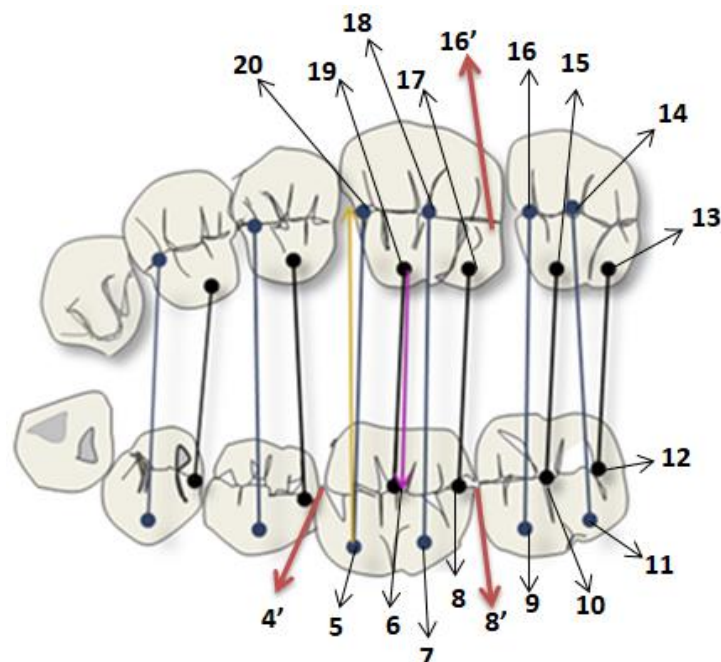
Εικόνα 4-6 : Ανάλυση Πρώτου Γομφίου {18}

Ο δεύτερος γομφίος της κάτω γνάθου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-7, αποτελείται από τέσσερα φύματα, δύο παρειικά και δύο γλωσσικά, και τρία βοθρία.



Εικόνα 4-7 : Ανάλυση Δεύτερου Γομφίου {18}

Από την Εικόνα 4-8, τα σημεία 4', 5, 6, 7, 8, 8', 9, 10, 11 και 12 ανήκουν στην κάτω γνάθο και τα σημεία 13, 14, 15, 16, 16', 17, 18, 19 και 20 ανήκουν στην άνω γνάθο. Στον Πίνακα 4-2 ορίζεται η ονομασία των σημείων σύγκλεισης για τους γομφίους ως εξής :



Εικόνα 4-8 : Σημεία Επαφής στους Γομφίους {1}

Πίνακας 4-2 : Ονομασία Σημείων Επαφών στους Γομφίους

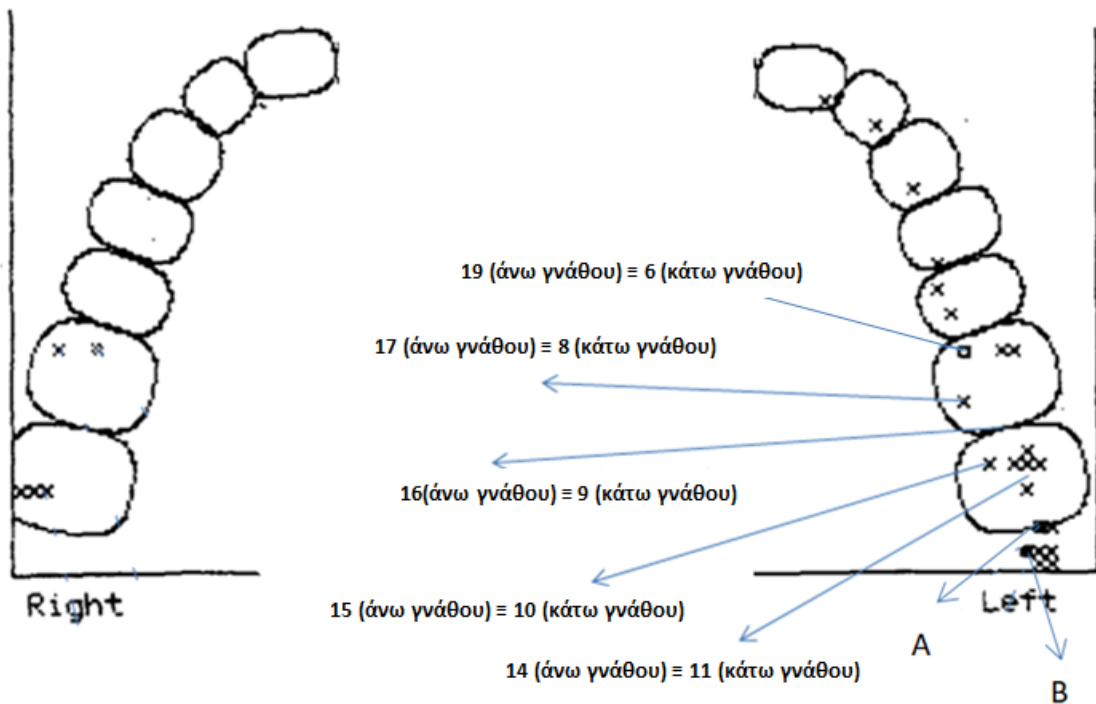
ΚΑΤΩ ΓΝΑΘΟΣ	ΑΝΩ ΓΝΑΘΟΣ
Σημείο 4' : Μασητική Αγκάλη Μεταξύ του Δεύτερου Προγομφίου και Πρώτου Γομφίου	Σημείο 20 : Μασητική Αγκάλη Μεταξύ του Δεύτερου Προγομφίου και Πρώτου Γομφίου
Σημείο 5 : Άπω Παρειακό Φύμα Πρώτου Γομφίου	Σημείο 19 : Εγγύς Υπερώιο Φύμα Πρώτου Γομφίου
Σημείο 6 : Κεντρικό Βοθρίο Πρώτου Γομφίου	Σημείο 18 : Κεντρικό Βοθρίο Πρώτου Γομφίου
Σημείο 7 : Εγγύς Παρειακό Φύμα Πρώτου Γομφίου	Σημείο 17 : Υπερώιο Φύμα Πρώτου Γομφίου
Σημείο 8 : Μασητική Αγκάλη Μεταξύ του Πρώτου και Δεύτερου Γομφίου	Σημείο 16 : Μασητική Αγκάλη Μεταξύ του Πρώτου και Δεύτερου Γομφίου
Σημείο 9 : Άπω Παρειακό Φύμα Δεύτερου Γομφίου	Σημείο 15 : Υπερώιο Φύμα Δεύτερου Γομφίου
Σημείο 10 : Κεντρικό Βοθρίο Δεύτερου Γομφίου	Σημείο 14 : Κεντρικό Βοθρίο Δεύτερου Γομφίου
Σημείο 11 : Εγγύς Παρειακό Φύμα Δεύτερου Γομφίου	Σημείο 13 : Υπερώιο Φύμα Δεύτερου Γομφίου
Σημείο 12 : Άπω βοθρίο Δεύτερου Γομφίου	

Οι επαφές των τρίτων γομφίων είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Οι επιφάνειες των τρίτων γομφίων δεν είναι προκαθορισμένες και παρουσιάζουν παραλλαγές ως προς τους αύλακες στις μασητικές επιφάνειες, τα φύματα και τα βοθρία. Οι πιο συνηθισμένες μορφές των τρίτων γομφίων είναι ο τετράφυμος και ο πεντάφυμος τύπος. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε την εμφάνιση τεσσάρων φυμάτων και μπορεί να προμοιαστεί μορφολογικά με τον δεύτερο γομφίο. Στην δεύτερη περίπτωση υπάρχουν πέντε φύματα και η μορφολογία του παρομοιάζεται με αυτή του πρώτου γομφίου. Οι μασητικές του επιφάνειες είναι παρόμοιες με αυτή των υπολοίπων γομφίων της κάτω γνάθου, απλώς το κύριο μορφολογικό του στοιχείο είναι η εμφάνιση πολλών βοθρίων και δευτερογενών αυλακώσεων. Παραλλαγές παρουσιάζονται και στις ρίζες. Συνήθως, αποτελείται από δύο ρίζες αλλά μπορεί να παρουσιαστεί μεγαλύτερος αριθμός ριζών αλλά και διαφορετικές μορφές, είτε ενωμένες όλες μαζί σε μία ρίζα είτε αποκλίνουσες [4].

Η μορφή του τρίτου γομφίου δεν αναφέρεται στο άρθρο στο οποίο ορίζεται ο χρόνος. Επομένως, για τον προσδιορισμό των επαφών όσον αφορά τον χρόνο θα πρέπει να γίνει μια τυπική εκτίμηση για να υπάρξει έστω ένα σημείο αναφοράς που να ορίζει τις αρχικές επαφές. Οι επαφές, όπως ορίζονται από την σύγκλιση, θα αφορούν τα παρειακά και τα κεντρικά φύματα του τρίτου γομφίου της κάτω γνάθου.

Ανεξαρτήτως μορφολογίας, στην Εικόνα 4-9 τα σημεία A και B υποδηλώνουν τη μασητική αγκάλη μεταξύ του δεύτερου και τρίτου γομφίου και το εγγύς βοθρίο του τρίτου γομφίου της άνω γνάθου αντίστοιχα, είτε έχουμε πεντάφυμο είτε τετράφυμο τύπο τρίτου γομφίου. Η σύγκλιση με την κάτω γνάθο θα ακολουθεί τη ροή επαφής όπως και στους υπόλοιπους γομφίους. Δηλαδή η μασητική αγκάλη μεταξύ του δεύτερου και τρίτου γομφίου της άνω γνάθου και το κεντρικό βοθρίο του τρίτου γομφίου της άνω γνάθου θα έρχονται σε επαφή με τα παρειακά φύματα του τρίτου γομφίου της κάτω γνάθου. Τα υπόλοιπα σημεία που αφορούν τις επαφές επειδή δεν αναγράφονται όσον αφορά το χρόνο είναι δύσκολο να υπολογιστούν.

Αφού οριστούν τα σημεία επαφών, θα πρέπει να εντοπιστούν τα σημεία της άνω γνάθου όπου παρουσιάζονται οι χρόνοι επαφής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-9.



Εικόνα 4-9 : Χρόνοι Επαφής στους Γομφίους {17}

Επομένως, οι χρόνοι επαφής για τα σημεία της κάτω γνάθου είναι :

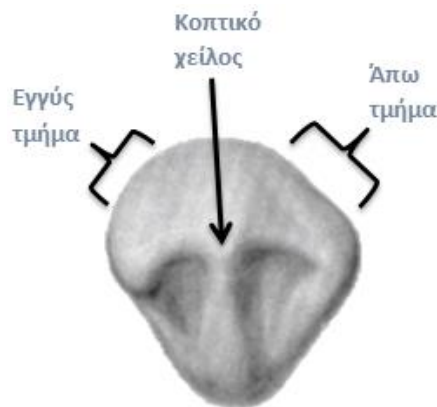
- ✚ Για $t = 0$ δευτερόλεπτα, δηλαδή στις πρώτες επαφές, έρχονται σε επαφή τα παρειακά φύματα των τρίτων γομφίων της κάτω γνάθου.
- ✚ Για $t = 0,01$ δευτερόλεπτα, έρχεται σε επαφή η περιοχή μεταξύ του εγγύς παρειακού φύματος του δεύτερου γομφίου της κάτω γνάθου.
- ✚ Για $t = 0,02$ δευτερόλεπτα, έρχεται σε επαφή η περιοχή μεταξύ του κεντρικού βοθρίου και του άπω παρειακού φύματος του πρώτου γομφίου της κάτω γνάθου.
- ✚ Για $t = 0,03$ δευτερόλεπτα, έρχεται σε επαφή η περιοχή του κεντρικού βοθρίου του δεύτερου γομφίου και η μασητική αγκάλη μεταξύ του πρώτου και δεύτερου γομφίου της κάτω γνάθου.

4.2 Υπολογισμός χρόνου στα πρόσθια δόντια

Τα σημεία επαφών για τα πρόσθια δόντια εντοπίζονται στα κοπτικά χείλη. Τα πρόσθια χείλη των δοντιών της κάτω γνάθου συγκλείνουν με τις υπερώιες επιφάνειες των δοντιών της άνω γνάθου.

ΚΥΝΟΔΟΝΤΕΣ

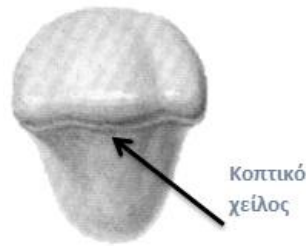
Ο κυνόδοντας της κάτω γνάθου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-10 αποτελείται από ένα τριγωνικό κοπτικό χείλος. Από την κορυφή του λοβού, το κοπτικό χείλος χωρίζεται σε δύο τμήματα : την εγγύς και την άπω κοπτική γωνία.



Εικόνα 4-10 : Ανάλυση Κυνόδοντα {18}

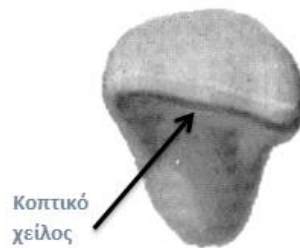
ΤΟΜΕΙΣ

Οι κεντρικοί τομείς της κάτω γνάθου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-11, εμφανίζουν κατά την ανατολή του δοντιού, τρεις λοβούς στα κοπτικά χείλη, οι οποίοι με την πάροδο του χρόνου αποτρίβονται σχηματίζοντας ένα ευθύ κοπτικό χείλος με οξείες γωνίες στις όμορες επιφάνειες.



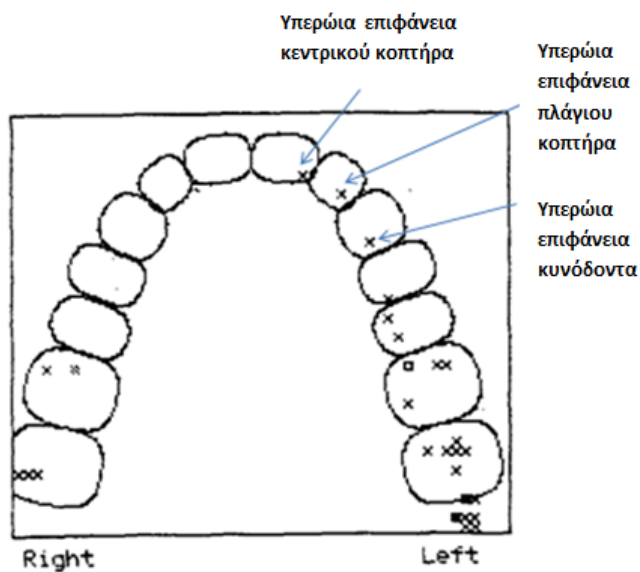
Εικόνα 4-11: Ανάλυση Κεντρικού Τομέα {18}

Οι πλάγιοι τομείς της κάτω γνάθου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4-12, έχουν ένα ευθύ κοπτικό χείλος με μια ελαφριά κλίση προς τα άπω.



Εικόνα 4-12 : Ανάλυση Πλάγιου Τομέα {18}

Τα κοπτικά χείλη των κυνοδόντων της κάτω γνάθου, συγκλείουν με τις γλωσσικές επιφάνειες των κυνοδόντων και των πλάγιων τομέων της άνω γνάθου. Οι κεντρικοί τομείς έρχονται σε επαφή με τις γλωσσικές επιφάνειες των κεντρικών τομέων της άνω γνάθου. Οι πλάγιοι τομείς της κάτω γνάθου, συγκλείουν με τις γλωσσικές επιφάνειες των κεντρικών και πλάγιων τομέων της άνω γνάθου. Από την Εικόνα 4-13, βλέπουμε ότι η επαφή στην γλωσσική επιφάνεια τόσο στον κυνόδοντα της άνω γνάθου όσο και στις γλωσσικές επιφάνειες των τομέων είναι υπαρκτή. Επομένως, η επαφή στα πρόσθια δόντια της κάτω γνάθου συμβαίνει στα 0,03 δευτερόλεπτα.

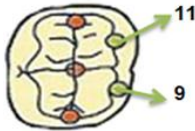
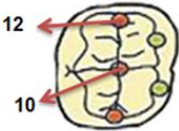
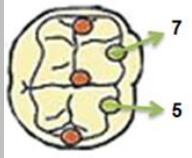
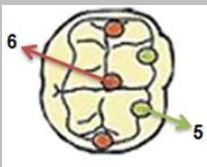
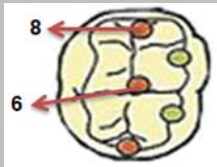






Εικόνα 4-13 : Χρόνοι Επαφής στα Πρόσθια Δόντια {17}

4.3 Συνολικά αποτελέσματα του χρόνου επαφής των δοντιών της κάτω γνάθου

Στον Πίνακα 4-3, παρουσιάζεται η αλληλουχία του χρόνου για όλες τις επαφές των δοντιών. Οι περιοχές επαφής προσδιορίζονται προσεγγιστικά για όλα τα σημεία σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε για τον χρόνο. Για τα σημεία 1 και 2 του πρώτου προγομφίου, ο χρόνος προσδιορίζεται στα 0,03 δευτερόλεπτα αφού και οι επαφές των γειτονικών δοντιών συμβαίνουν στον ίδιο χρόνο και για τα σημεία 5 και 7 του πρώτου γομφίου, οι επαφή μπαίνει στα 0,01 δευτερόλεπτα.

Πίνακας 4-3 : Ανάλυση Χρόνου Επαφών Στην Κάτω Γνάθο
 Όπου, M3: 3ος γομφίος, M2: 2ος γομφίος, M1: 1ος γομφίος, PM2: 2ος προγόμφιος, PM1: 1ος προγόμφιος, C: κυνόδοντας και I : τομείς

	0	0,01	0,02	0,03
M3 Επαφές τρίτων γομφίων				
M2				
M1				
PM2				
PM1				
C				
I				

4.4 Συνολικά Αποτελέσματα

Η μάσηση, όπως αναφέραμε, είναι μια από τις πιο κοινές και σύνθετες κινήσεις που εκτελεί το στοματογναθικό σύστημα. Το φαγητό εισάγεται στη στοματική κοιλότητα, τεμαχίζεται, συνθλίβεται και στο τέλος με τη λειοτρίβηση πολτοποιείται και καταλήγει στο στομάχι. Όλες αυτές οι κινήσεις απαιτούν την συμβολή κάθε φορά διαφορετικών μυών, ασκώντας πιέσεις μεταξύ των δοντιών προκειμένου το φαγητό να ετοιμαστεί για την κατάποση. Οι μεγαλύτερες δυνάμεις της στοματικής κοιλότητας παράγονται κατά τη διαδικασία της μάσησης. Οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται κατά τη φάση σύγκλεισης, όπου τα δόντια και οι μύες έρχονται στο «τέλειο ταίριασμα» μεταξύ τους. Η σταθερότητα όσον αφορά την σύγκλειση έχει μεγάλη σημασία και οι δυνάμεις που παράγονται μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση πολλών κλινικών καταστάσεων.

Η μελέτη μας εστιάζει σε αυτό ακριβώς το σημείο και προσπάθησε να περιγράψει τις δυνάμεις που παράγονται προσδιορίζοντας την αλληλουχία του χρόνου και τις επιφάνειες σύγκλεισης για κάθε οδοντική επαφή. Οι επαφές αρχίζουν από τα οπίσθια δόντια και συνεχίζουν προς τα πρόσθια αναπτύσσοντας φορτίσεις μεταξύ των δοντιών της άνω και κάτω γνάθου που μεταδίδονται στα ούλα και στους περιοδοντικούς ιστούς. Επειδή εστιάζουμε σε μια συγκεκριμένη θέση της γνάθου ο χρόνος των επαφών θα αρχίσει να μετράει από μηδενική χρονική στιγμή.

Η πρώτη επαφή που συμβαίνει ($t=0$), εμφανίζεται στο εγγύς και άπω παρειακό φύμα του τρίτου γομφίου της κάτω γνάθου. Οι κάθετες δυνάμεις που δημιουργούνται έχουν εύρος 331,9 έως 344,9 N και καταλαμβάνουν μια επιφάνεια 6,9 mm² για τον τρίτο γομφίο της κάτω γνάθου και ένα μέρος από το εύρος των 12,5 mm² της συγκλεισιακής επιφάνειας των για τον δεύτερο γομφίο της κάτω γνάθου.

Οι δεύτερες επαφές συμβαίνουν 0,01 sec μετά από τις πρώτες. Σε γενικότερη βάση, πρώτα συγκλείνουν τα παρειακά (λειτουργικά) φύματα των γομφίων και έπειτα μετακινούμαστε προς την κεντρική επιφάνεια των δοντιών. Σε αυτή την χρονική στιγμή ($t=0.01$ sec), έχουμε τα ταυτόχρονες επαφές των παρειακών φυμάτων του δεύτερου και πρώτου γομφίου της κάτω γνάθου. Από αυτή τη χρονική στιγμή και για τα επόμενα 0,01 sec, ολοκληρώνονται και οι επαφές που αφορούν τα κεντρικά φύματα και την μασητική αγκάλη για τον πρώτο και δεύτερο γομφίο ($t=0.03$ sec). Το εύρος των δυνάμεων είναι μεγαλύτερο για τον πρώτου γομφίο σε σχέση με τον δεύτερο γομφίο. Η μέγιστη κάθετη δύναμη στον πρώτο γομφίο κυμαίνεται από 330,5 έως 681 N και για τον δεύτερο από 334,8 έως 336,5 N. Η επιφάνεια που καταλαμβάνουν οι δυνάμεις είναι εξίσου μεγαλύτερη για τον πρώτο γομφίο αφού και η δύναμη παρουσιάζει μεγαλύτερο μέγεθος. Έτσι για τον πρώτο γομφίο έχουμε μια συνολική επιφάνεια με εύρος 14,6 έως 16,4 mm² και για τον δεύτερο γομφίο συγκλεισιακή επιφάνεια με εύρος 12,5 mm².

Στα 0,03 sec, ολοκληρώνονται και οι υπόλοιπες επαφές των δοντιών. Στους δεύτερους προγομφίους συγκλείνουν το παρειακό φύμα και η μασητική αγκάλη μεταξύ του δεύτερου προγομφίου και του πρώτου γομφίου. Το εύρος της δύναμης αναφέρεται από 276,6 έως 286,7 N και η επιφάνεια που καταλαμβάνει η δύναμη είναι 5,4 έως 6,5 mm². Στους πρώτους προγομφίους δεν αναφέρεται ξεκάθαρα ο χρόνος καθώς δεν εντοπίστηκε ακριβώς το σημείο επαφής από την άνω στην κάτω γνάθο. Όμως, γνωρίζουμε πως η επαφή τους κυνόδοντες συμβαίνει την ίδια χρονική

στιγμή με την επαφή στον δεύτερο προγόμφιο. Επομένως, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η επαφή σύγκλεισης για πρώτο προγόμφιο συμβαίνει στα 0,03 sec και αφορά το παρειακό φύμα και την μασητική του αγκάλη με τον δεύτερο προγόμφιο. Τα εύρος των δυνάμεων που αναπτύσσεται είναι 283 έως 515 N με επιφάνεια σύγκλεισης 3,5 έως 3,6 mm².

Η σύγκλειση ολοκληρώνεται (t=0,03 sec) με την επαφή του κοπτικού χείλους του κυνόδοντα και ταυτόχρονα των δύο σημείων από το κοπτικό χείλος των δύο τομέων. Οι κάθετες δυνάμεις που αναπτύσσονται είναι 222,9 έως 229,4 N για τον κυνόδοντα και 195,4 έως 201,7 N, 189,3 έως 193,2 για τον πλάγιο και κεντρικό τομέα αντίστοιχα. Η επιφάνεια σύγκλεισης, ως σύνολο για τα πρόσθια δόντια κυμαίνεται στα 1,8 mm².

Δεν πρέπει να ξεχνάμε όμως και την ύπαρξη των πλευρικών δυνάμεων που αναπτύσσονται παράλληλα με τις κάθετες δυνάμεις. Επειδή ωστόσο, δεν αναφέρεται η ακριβής τοποθέτηση τους στα σημεία επαφών και δεν ορίζεται ούτε ο χρόνος, εντοπίζονται ως σύνολο μιας συνισταμένης πλευρικής δύναμης γενικότερα για των τύπο των δοντιών που είναι δύσκολο να ενταχθεί πλήρως στην ανάλυση.

Οι συνολικές τιμές για τις μέγιστες δυνάμεις δήξης που εμφανίζονται και οι μέγιστες επιφάνειες στις οποίες εφαρμόζονται για χρόνο σύγκλεισης από 0 έως 0,03 sec, σε κάθε τύπο δοντιών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-4.

Πίνακας 4-4 : Συνολικά Αποτελέσματα των Μέγιστων Δυνάμεων Δήξης και των Μέγιστων Επιφανειών κατά τη Διάρκεια του Χρόνου Σύγκλεισης

ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ (mm²)	ΕΥΡΟΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΚΑΘΕΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΗΞΗΣ [N]	ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΔΗΞΗΣ [N]	ΧΡΟΝΟΣ ΣΥΓΚΛΕΙΣΗΣ [sec]
ΚΕΝΤΡΙΚΟΙ ΚΟΠΤΗΡΕΣ	1,8	189,3 έως 193,2	14,5	t=0,03
ΠΛΕΥΡΙΚΟΙ ΚΟΠΤΗΡΕΣ	1,8	195,4 έως 201,7	14,5	t=0,03
ΚΥΝΟΔΟΝΤΑΣ	1,8	222,9 έως 229,4	14,5	t=0,03
ΠΡΩΤΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	3,5 έως 3,6	283 έως 515	16,1	t=0,03
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΠΡΟΓΟΜΦΙΟΣ	5,4 έως 6,5	276,6 έως 286,7	16,1	t=0,03
ΠΡΩΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	14 έως 16,4	330,5 έως 681	35,1	t=0,01 & t=0,02 & t=0,03
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	12,5	334,8 έως 336,5	35,1	t=0,01 & t= 0,03
ΤΡΙΤΟΣ ΓΟΜΦΙΟΣ	6,9	331,9 έως 344,9	35,1	t=0

5. Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων και Μοντελοποίηση

5.1 Πεπερασμένα στοιχεία

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Analysis, FEM), είναι μια αριθμητική μέθοδος (δηλαδή, μέθοδος υπολογισμού με χρήση Η/Υ) επίλυσης φυσικών προβλημάτων. Αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο στην ανάπτυξη, την μελέτη κατασκευών και χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία σε πολλές μηχανικές αναλύσεις. Διάφοροι επιστημονικοί κλάδοι στους οποίους μπορεί να εφαρμοστεί είναι η ρευστομηχανική, η μετάδοση θερμότητας και η αντοχή των κατασκευών.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, έχει μετατραπεί σε ένα ισχυρό εργαλείο που εφαρμόζεται σε πραγματικά προβλήματα με πολύπλοκη γεωμετρία. Τέτοια προβλήματα, είναι μαθηματικά μοντέλα που αντιπροσωπεύονται από διαφορικές εξισώσεις δύσκολο να επιλυθούν, καθιστώντας ως πρόκληση το να βρεθεί μια προσεγγιστική λύση του προβλήματος. Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να εφαρμοστεί σε γραμμικά ή μη-γραμμικά προβλήματα και να προβλέψει την συμπεριφορά του συστήματος σε διάφορες καταστάσεις, βασιζόμενη στις μητρώϊκές μεθόδους ανάλυσης κατασκευών. Παράδειγμα, αποτελεί ο σχεδιασμός ιατρικού εξοπλισμού όπως τα οδοντικά εμφυτεύματα. Η ανάγκη σχεδιασμού ενός οδοντικού εμφυτεύματος με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, καθιστά απαραίτητο τον βέλτιστο σχεδιασμό του εμφυτεύματος.

Έχουν δημοσιευτεί αρκετά άρθρα που ασχολούνται με την μελέτη των πεπερασμένων στοιχείων όσον αφορά τις δυνάμεις που ασκούνται στη στοματική κοιλότητα. Ο Lucie Himmlova [26] προσπάθησε να προσδιορίσει το μήκος και την διάμετρο που πρέπει να έχει ένα εμφύτευμα προκειμένου να υπάρξει καλύτερη κατανομή της τάσης σε αυτό. Για να οδηγηθεί σε ένα συμπέρασμα, σύγκρινε τις τιμές των καταπόνσεων για διαφορετικές τιμές του μήκους και της διαμέτρου των εμφυτευμάτων με ένα μοντέλο αναφοράς. Τα σημεία που εκτέθηκαν στις μέγιστες τάσεις εντοπίστηκαν στο λαιμό των εμφυτευμάτων και ήταν ίδια για όλες τις τιμές του μήκους και της διαμέτρου. Οι τιμές των δυνάμεων προέκυψαν από την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων και η προσομοίωση αφορούσε μοντέλα εμφυτευμάτων που βρίσκονταν στη θέση των γομφίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αύξηση της διαμέτρου του εμφυτεύματος διαχέει καλύτερα την δύναμη δήξης και μειώνει τις φορτίσεις γύρω από τον λαιμό του εμφυτεύματος. Για εμφυτεύματα με διάμετρο 6,5 mm υπάρχει μείωση της καταπόνησης κατά 60%. Ωστόσο, η αλλαγή στην τιμή του μήκους δεν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στην καταπόνηση του εμφυτεύματος αφού οι τιμές των αποτελεσμάτων κυμαίνονται στο ίδιο επίπεδο.

Ο Curtis [27] μελέτησε τις συγκλεισιακές δυνάμεις των ασθενών που έχουν υποβληθεί σε χειρουργική ανακατασκευή της γνάθου. Το μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων προσομοίωσε την αριστερή πλευρά της εκτομής που χειρουργήθηκε και σύγκρινε τα αποτελέσματα με τις τιμές των συγκλεισιακών δυνάμεων από ασθενείς που δεν παρουσιάζουν κάποιο τραυματισμό στην γνάθο. Οι δυνάμεις που μελετήθηκαν αφορούσαν την περιοχή των τομών και των γομφίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές των συγκλεισιακών δυνάμεων για τους ασθενείς που υποβλήθηκαν στην χειρουργική επέμβαση ήταν μικρότερες τόσο για τους τομείς

όσο και για τους γομφίους. Σύμφωνα με την προσομοίωση του μοντέλου, οι ασθενείς από την ανακατασκευή της γνάθου παρουσιάζουν 45% μικρότερη δύναμη στους γομφίους και 50% μικρότερη δύναμη στους τομείς σε σύγκριση με τις τιμές που εμφανίζονται για τους ασθενείς χωρίς κάποιο τραυματισμό στην γνάθο.

Με την βοήθεια των πεπερασμένων στοιχείων είναι δυνατόν να υπολογιστεί η τιμή της δύναμης συναρτήσει της κλίσης ενός εμφυτεύματος. Ο Fumihiko Watanable [28] ανέλυσε την δύναμη που μπορεί να παραχθεί αν μεταβάλουμε την θέση φόρτισης και την κατεύθυνση του εμφυτεύματος. Ανεξάρτητα από το σημείο και την κατεύθυνση φόρτισης, οι τιμές των δυνάμεων είναι μεγαλύτερες όταν το εμφύτευμα βρίσκεται υπό κλίση. Με την εφαρμογή ενός φορτίου 45° στην κορυφή των φυμάτων οδηγούμαστε σε υψηλότερα μεγέθη δυνάμεων. Αντιθέτως, για κλίση φύματος 5° η τιμή της δύναμης παρουσιάζει σημαντική μείωση. Η μέγιστη τιμή δύναμης που καταγράφηκε αφορά ένα εμφύτευμα σε κλίση 15° , με εφαρμογή φορτίου 45° στην κορυφή του γλωσσικού φύματος.

Το πρόβλημα που μπορεί να εντοπιστεί στη μέθοδο ανάλυσης με πεπερασμένα στοιχεία, είναι η έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τις λεπτομέρειες της ανατομίας των μοντέλων και των μηχανικών ιδιοτήτων και της δομής των οστών. Τα στοιχεία αυτά εμποδίζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων ώστε να υπάρξει μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση των μοντέλων.

5.2 Ιστορικά στοιχεία

Η Μέθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων αρχίζει να εμφανίζεται στα τέλη του Β' Παγκοσμίου πολέμου. Η ανάπτυξη και η επιτυχία της μεθόδου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη και την διάδοση του ψηφιακού υπολογιστή. Υπάρχουν πέντε βασικές, ισοδύναμες μέθοδοι που βοηθούν στην διατύπωση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων και στην ανάλυση των μητρωϊκών εξισώσεων κίνησης. Οι πέντε βασικές μέθοδοι είναι οι εξής :

1. Η Αρχή των Δυνατών Έργων
2. Η Ελαχιστοποίηση της Ολικής Ενέργειας
3. Η Μέθοδος Galerkin
4. Η Αρχή του Hamilton
5. Η Μέθοδος των Εξισώσεων Lagrange

Οι αρχές της μεθόδου αναπτύχθηκαν το 1877, όταν ο Άγγλος βαρώνος Rayleigh (1842-1919) προσπάθησε να αναλύσει την ελεύθερη ταλάντωση των κατασκευών υπολογίζοντας τις τιμές των ιδιοσυχνοτήτων. Ανέπτυξε μια μεθοδολογία που περιγράφει τη μορφή που θα πάρει η κατασκευή όταν υπάρχει μικρή τιμή ιδιοσυχνότητας κατά την ταλάντωση και προσδιόρισε την εξίσωση της μέγιστης κινητικής ενέργειας με την μέγιστη ελαστική ενέργεια. Μια παρόμοια προσέγγιση, πραγματοποίησε ο μαθηματικός Ritz (1878-1909) για την επίλυση στατικών προβλημάτων και την εύρεση της ελάχιστης ολικής ενέργειας. Η μέθοδος που προσδιορίζει τις ιδιοσυχνότητες και τις ιδιομορφές ενός συστήματος για την επίλυση των καταπονήσεων σε μηχανικά συστήματα είναι γνωστή σήμερα, ως μέθοδος Rayleigh-Ritz.

Το 1913 ο Bubnov (1872-1919) και το 1915 Galerkin (1871-1945), ανεξάρτητα μεταξύ τους, προσπάθησαν να μετατρέψουν την επίλυση διαφορικών εξισώσεων μερικών παραγόντων σε μια ολοκληρωτική εξίσωση. Η επίλυση αποτελείται από άγνωστους συντελεστές που πρέπει να προσδιοριστούν, μέσα από μια σειρά γνωστών συναρτήσεων. Η απουσία ωστόσο των ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθυστέρησε την ανάπτυξη της μεθόδου, η οποία στα μετέπειτα χρόνια έγινε γνωστή και διαδόθηκε στους ερευνητές.

Στη σύγχρονη εποχή, η ιδέα του χωρισμού μιας κατασκευής σε ένα μικρότερο πλήθος στοιχείων (πεπερασμένα στοιχεία), εισήχθη το 1941 από τον Hrennikoff και το 1943 από τον McHenry. Δημιουργήθηκε η μέθοδος πλαισίου (Framework method) σύμφωνα με την οποία ένα επίπεδο ελαστικό μέσο μπορεί να αντικατασταθεί από ένα ισοδύναμο σύστημα δοκού και ράβδου. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε, ως λύση, για την αντιμετώπιση των προβλημάτων κατά τον δομικό σχεδιασμό των αεροσκαφών. Εξαιτίας των πολλών απαιτήσεων στην ανάλυση αεροσκαφών, η ιδέα εγκαταλείφθηκε και αναζητήσαν μια πιο αξιόπιστη προσέγγιση.

Μια άμεση προσέγγιση, δόθηκε το 1955 από τον Έλληνα μηχανικό Ιωάννη Αργύρη μέσα από το σύγγραμμα του με θέμα 'Ενεργειακά θεωρήματα και η μέθοδος μητρώων'. Με αυτό το βιβλίο εισήχθησαν οι αρχές των πεπερασμένων στοιχείων. Χαρακτηριστικό του έργου του είναι ο συνδυασμός έξι ισοδύναμων θεωρήσεων: των διαφορικών εξισώσεων ισορροπίας της θεωρίας ελαστικότητας, του θεωρήματος Gastigliano, η αρχή της ελάχιστης ενέργειας παραμόρφωσης, η μέθοδος των μοναδιαίων μετατοπίσεων, η μέθοδος Rayleigh-Ritz και η μέθοδος Galerkin.

Το 1956 ο μαθηματικός Turner υπολόγισε το μητρώο στιβαρότητας, για ένα τριγωνικό στοιχείο, για την σύνδεση των πεπερασμένων στοιχείων. Ο όρος 'πεπερασμένα στοιχεία' εισάγεται το 1960 από τον Clough, στην προσπάθεια περιγραφής μικρών στοιχειακών τεμαχίων μια πλήρους επιφάνειας. Το 1968 οι Clough και Johnson προσπάθησαν να μοντελοποιήσουν λεπτά κελύφη με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων πλάκας σε κάμψη. Ωστόσο, έγινε σύντομα κατανοητό ότι η εμφάνιση μεγάλης κάμψης δημιουργεί προβλήματα και πρέπει να αναπτυχθούν αυτόνομα στοιχεία κελύφους.

Οι ερευνητές μέσα στα επόμενα χρόνια, έστρεψαν την προσοχή τους και στην επίλυση πιο σύνθετων προβλημάτων. Ο Turner προσδιόρισε την τεχνική της σταδιακής αύξησης για την λύση μη- γραμμικών προβλημάτων, δηλαδή προβλημάτων όπου οι παραμορφώσεις παραμένουν μικρές αλλά οι μετατοπίσεις είναι μεγάλες. Σε τέτοιου είδους προβλήματα εισάγεται και η Ανάλυση Ευαισθησίας που μελετήθηκε το 1965 από τον Martin. Το 1963 ο Archer μελέτησε δυναμικά προβλήματα, εισάγοντας την ιδέα του κατανεμημένου μητρώου μάζας. Πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια μελέτη για τα προβλήματα κραδασμών από τον Zienkiewicz το 1966.

Το 1971 και 1973 εισάγεται η ιδέα για την μέθοδο εκτίμησης σφάλματος από τους Babuska. Μέσα από αυτή την μέθοδο εξασφαλίζεται ο προσδιορισμός της αριθμητικής λύσης από την κατάλληλη προσαρμογή του πλέγματος. Σημαντικός όμως παράγοντας για την εξέλιξη των πεπερασμένων στοιχείων είναι και η εισαγωγή

της Μεθόδου των Συνοριακών Στοιχείων (BEM :Boundary Element Method). Οι πρώτες εκτιμήσεις δόθηκαν το 1987 από τον Προβατίδη και το 1992 από τον Becker.

Την τελευταία δεκαετία, η ανάγκη για επίλυση και απεικόνιση πολύπλοκων προβλημάτων οδήγησε στην εμφάνιση υπολογιστικών προγραμμάτων. Τα προγράμματα CAM, CAD και CAE χρησιμοποιούν την μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων για την ανάλυση διαφόρων προβλημάτων σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Για παράδειγμα, στον τομέα της Βιοϊατρικής, ο Zienkiewicz το 1977 προσπάθησε να υπολογίσει τις τάσεις που αναπτύσσονται στο μεταμοσχευμένο ανθρώπινο μηρό. Ενώ αργότερα, το 2009, ο Phillips αναπαράστησε ένα πιο λεπτομερές μοντέλο στο οποίο εκτός από τα οστά συμμετέχουν και οι συνεργαζόμενοι μύες.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι πλέον διαδεδομένη και συχνά αναπτύσσονται συμπληρωματικές μέθοδοι ως προς αυτή. Έχει υπολογιστεί ότι εμφανίζεται ανά πενταετία μια καινούργια μεθοδολογία [29] η οποία επιδιώκει την καλύτερη και ακριβέστερη ανάλυση για την αντιμετώπιση των πεπερασμένων προβλημάτων.

5.3 Στάδια μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μια προσεγγιστική, αριθμητική μέθοδος σύμφωνα με την οποία πολύπλοκα συστήματα ή γεωμετρικές υποδιαίρονται σε μικρότερα, απλούστερα τμήματα για να πραγματοποιηθεί πιο εύκολα η επίλυση τους. Για να πραγματοποιηθεί η επίλυση ενός προβλήματος πεπερασμένων στοιχείων ακολουθείται μια τυποποιημένη σειρά ενεργειών [30]. Η διαδικασία που αναπτύσσεται αναλύεται ως εξής :

ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ

Αφού καθοριστεί η γεωμετρία του μοντέλου, έπειτα υποδιαιρείται σε ένα πεπερασμένο αριθμό γεωμετρικών στοιχείων (elements). Τα πεπερασμένα στοιχεία αλληλοσυνδέονται σε συγκεκριμένα σημεία που ονομάζονται κόμβοι (nodes). Σε καθέναν από αυτούς τους κόμβους αναπτύσσεται ένας γραμμικός συνδυασμός αλγεβρικών εξισώσεων που ικανοποιεί συγκεκριμένες οριακές συνθήκες. Οι τελικοί κόμβοι που συνδέουν τα διάφορα στοιχεία συνθέτουν το πλέγμα (mesh) του μοντέλου.

Κάθε κόμβος έχει έναν καθορισμένο αριθμό βαθμών ελευθερίας που καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο θα κινηθεί το μοντέλο μέσα στον χώρο. Οι περιορισμοί που αφορούν την κίνηση του μοντέλου πρέπει να δοθούν με προσοχή ώστε το μοντέλο να μετασπίζεται ομοιόμορφα ως άκαμπτο σώμα προκειμένου να λάβουμε τα σωστά αποτελέσματα από τους υπολογισμούς

Το μέγεθος, ο αριθμός και το είδος των πεπερασμένων γεωμετρικών στοιχείων εξαρτάται κάθε φορά από την ακρίβεια που επιθυμούμε να έχουμε στο μοντέλο. Για παράδειγμα, όταν η γεωμετρία του μοντέλου μας μεταβάλλεται, είναι καλύτερο να χρησιμοποιήσουμε μικρό μέγεθος στοιχείων. Αντίθετα, μεγαλύτερα στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σταθερές γεωμετρίες. Το είδος των στοιχείων πρέπει επιλέγεται ανάλογα με την γεωμετρία του μοντέλου και τον αριθμό των συντεταγμένων που χρειάζονται προκειμένου να αποτυπωθεί το μοντέλο στον χώρο. Έτσι, τα πεπερασμένα στοιχεία χωρίζονται σε μονοδιάστατα, διδιάστατα και

τριδιάστατα στοιχεία, ώστε να ικανοποιήσουν όσο το δυνατόν περισσότερα προβλήματα.

Όταν η γεωμετρία του μοντέλου μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση μόνο μίας χωρικής συντεταγμένης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μονοδιάστατα ή γραμμικά στοιχεία (bar elements). Όταν η απεικόνιση της γεωμετρίας του μοντέλου γίνεται με την χρήση δύο ανεξάρτητων χωρικών συντεταγμένων χρησιμοποιούμε δισδιάστατα στοιχεία, όπως τα τριγωνικά (tria) και τα τετραπλευρικά (quad) στοιχεία. Αντίστοιχα, όταν η γεωμετρία του μοντέλου περιγράφεται με τη χρήση τριών ανεξάρτητων χωρικών μεταβλητών, χρησιμοποιούμε τρισδιάστατα στοιχεία. Τα τρισδιάστατα στοιχεία διακρίνονται σε τετραεδρικά (tetra), σφηνοειδή (wedge) και κυβικά/εξαεδρικά (hexa).

Το επόμενο στάδιο, αφού έχει αποφασιστεί ο τύπος των πεπερασμένων στοιχείων που θα χρησιμοποιηθεί, είναι η δημιουργία του πλέγματος. Το σύνολο των κόμβων μαζί με τα στοιχεία δημιουργούν το πλέγμα. Ο μηχανικός είναι αυτός που αποφασίζει το πώς θα διακριτοποιηθεί το μοντέλο και θα καθοριστεί η μορφή του πλέγματος. Ο γενικότερος κανόνας είναι ότι όσο πιο πυκνό είναι ένα πλέγμα τόσο πιο ακριβή θα είναι και τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Η πλεγματοποίηση είναι μια χρονοβόρα διαδικασία και μπορεί να οδηγήσει συχνά σε λάθη, ειδικά αν πραγματοποιηθεί με το χέρι. Τα σύγχρονα προγράμματα περιέχουν αλγορίθμους με την βοήθεια των οποίων η δημιουργία πλέγματος γίνεται αυτόματα.

Σε κάθε περίπτωση όμως το πλέγμα πρέπει να ελέγχεται, ειδικότερα στα σημεία που παρουσιάζουν απότομες αλλαγές στην γεωμετρία ή υψηλές συγκεντρώσεις τάσεων. Στις περιπτώσεις αυτές, μπορούμε να επέμβουμε στις παραμέτρους του πλέγματος και να το βελτιώσουμε, όπως κάνοντας πυκνότερες τις συγκεκριμένες περιοχές του πλέγματος, για την αποφυγή σφαλμάτων και βελτίωση του τελικού αποτελέσματος στην ανάλυση. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των στοιχείων σε ένα πλέγμα κι όσο πιο μικρό το μέγεθος τους τόσο πιο πυκνό γίνεται το πλέγμα της γεωμετρίας μας.

ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Η λύση του προβλήματος προσδιορίζεται με την επιλογή κατάλληλων συναρτήσεων. Η ζητούμενη παράμετρος των συναρτήσεων (π.χ. η μετατόπιση) αναπαριστάται στο κάθε στοιχείο με ένα πολυώνυμο. Ο βαθμός της πολυωνυμικής προσέγγισης εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων σε κάθε στοιχείο και από τις οριακές συνθήκες που θα τεθούν μεταξύ αυτών.

ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΕΞΙΣΕΩΝ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Οι εξισώσεις ισορροπίας διατυπώνονται από το επίπεδο του σώματος στο επίπεδο του κάθε στοιχείου. Για κάθε στοιχείο δημιουργούνται οι πίνακες των μητρώων στιβαρότητας, μάζας και των διανυσμάτων διέγερσης.

ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Οι εξισώσεις ισορροπίας που έχουν δημιουργηθεί για κάθε στοιχείο προστίθενται για να προκύψει το συνολικό μητρώο ακαμψίας και το συνολικό μητρώο

φορτίσεων. Η τελική μορφή των μητρώων, προσαρμόζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί τις οριακές συνθήκες που έχουν οριστεί για το σύστημα. Διαφορετικά, θα προκύψουν λάθος αποτελέσματα στην τελική ανάλυση.

ΕΠΙΛΥΣΗ ΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Το ολικό σύστημα εξισώσεων επιλύεται και υπολογίζονται οι άγνωστες παράμετροι των κόμβων στο πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων. Η επίλυση γίνεται με την χρήση της μεθόδου απαλοιφής Gauss.




ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από τα αποτελέσματα της επίλυσης των εξισώσεων, μπορούν να αναπαρασταθούν γραφικά και να αναλυθούν οι τάσεις και οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται στο μοντέλο.

Η επιλογή του σωστού τύπου στοιχείων, η πλεγματοποίηση και ο καθορισμός των σωστών οριακών συνθηκών αποτελούν τους τρεις βασικούς παράγοντες για μια αποτελεσματική ανάλυση. Δεδομένου ότι η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων αποτελεί μια προσεγγιστική μέθοδο επίλυσης, είναι δυνατόν να προκύψουν σφάλματα κατά την μοντελοποίηση. Το σύστημα ανάλυσης μπορεί να προτείνει αλλαγές στη τελική μορφή και να παρέχει δυνατότητες μοντελοποίησης. Μέσα από την μέθοδο της επαναληπτικής διαδικασίας μπορεί να επιτευχθεί μια αποτελεσματική ανάλυση.

5.4 Μέθοδος μοντελοποίησης

Η εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους ανάλυσης των λογισμικών πακέτων CAE (Computer Aided Engineering). Τα λογισμικά αυτά πακέτα, χωρίζουν την διαδικασία της ανάλυσης σε τρία στάδια [30] :

-  Προ-επεξεργασία του μοντέλου (pre-processing)
-  Επίλυση του μοντέλου (solver)
-  Μετά-επεξεργασία του μοντέλου (post-processing)

Αφού πραγματοποιηθεί η εισαγωγή της γεωμετρίας του μοντέλου από ένα πρόγραμμα CAD, δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο του συστήματος μας. Το μοντέλο μας χωρίζεται σε πεπερασμένα στοιχεία και εισάγονται όλα τα δεδομένα που απαιτούνται για να το περιγράψουν, όπως οι καταπονήσεις και οι οριακές συνθήκες. Αυτή η διαδικασία αποτελεί το στάδιο της προ-επεξεργασίας του μοντέλου (pre-processing). Στη συνέχεια, οι πληροφορίες αυτές εισάγονται σε ένα πρόγραμμα, που ονομάζεται solver και αναλαμβάνει την επίλυση του μοντέλου. Τα αποτελέσματα της επίλυσης που συγκεντρώνονται, μπορούν να απεικονιστούν σε κατάλληλα προγράμματα, ώστε να μας δώσουν τα επιθυμητά συμπεράσματα όσον αφορά την αντοχή και βελτιστοποίηση του μοντέλου. Τέτοιου είδους προγράμματα ονομάζονται μετά-επεξεργαστές (post-processors).

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ CAE ANSA

Για την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων στη φάση της προεπεξεργασίας του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ANSA pre-processor της BETA CAE System S.A. [31]. Το λογισμικό πακέτο ANSA συσχετίζει την γεωμετρία CAD ενός μοντέλου και το πλέγμα των πεπερασμένων στοιχείων. Περιέχει πολλούς αλγόριθμους για τον σχηματισμό του πλέγματος και επιτρέπει την διατήρηση του έπειτα κι από κάποια μεταβολή στη γεωμετρία του μοντέλου.

Τα κυριότερα οφέλη από τη χρήση του λογισμικού ANSA pre-processor είναι :

- ✚ Αποτελεσματική διαχείριση δεδομένων σε περίπλοκες γεωμετρίες
- ✚ Υψηλή ποιότητα όσον αφορά τα αποτελέσματα μοντελοποίησης πολύπλοκων γεωμετριών
- ✚ Δυνατότητα δημιουργίας μοντέλων που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές πλατφόρμες επεξεργασίας
- ✚ Μείωση του χρόνου μοντελοποίησης και αύξηση της ποιότητας των αποτελεσμάτων

ΕΠΙΛΥΤΗΣ ABAQUS

Αφού ολοκληρωθεί το μοντέλο των πεπερασμένων στοιχείων, έχοντας τοποθετήσει κάποιος τις καταπονήσεις, τις οριακές συνθήκες και έχοντας καθορίσει το πλέγμα, το μοντέλο εξάγεται ως κώδικας που εκτελεί την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων. Ο επιλεγμένος solver για την λύση του προβλήματος μας είναι ο επιλυτής Abaqus [32]. Μας εμφανίζει τα αποτελέσματα των μετατοπίσεων ή πιθανών καταπονήσεων των κόμβων που υπάρχουν και πιθανά σφάλματα που προκύπτουν από τους υπολογισμούς των διεργασιών.

Ο επιλυτής Abaqus είναι δημοφιλής στα ερευνητικά και ακαδημαϊκά ιδρύματα εξαιτίας της ικανότητας μοντελοποίησης των υλικών και της ευελιξίας ως προς την προσαρμογή του σε διάφορα προβλήματα, για την αντιμετώπιση των μη-γραμμικών προβλημάτων. Οι εφαρμογές που μπορεί να καλύψει περιλαμβάνουν δομικά, δυναμικά ή στατικά προβλήματα, προβλήματα θερμότητας, μεταφοράς, ρευστοδυναμικής ή και έναν συνδυασμό όλων των παραπάνω. Χρησιμοποιείται επίσης και στις βιομηχανίες αυτοκινήτων, στο σχεδιασμό βιομηχανικών προϊόντων και στον τομέα της αεροδιαστημικής.

ΜΕΤΑ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ ΜΕΤΑ

Η αναπαράσταση του μοντέλου και η απεικόνιση των αποτελεσμάτων έγινε με την βοήθεια του μετά-επεξεργαστή ΜΕΤΑ [31]. Μέσα στο λογισμικό υπάρχουν τα δεδομένα των φορτίσεων, των μετατοπίσεων και των παραμορφώσεων που προσδίδονται στο μοντέλο. Σαν λογισμικό είναι εύχρηστο και φιλικό προς το χρήστη. Αποδίδει γρήγορα τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, παρέχει την δυνατότητα να εξαχθούν αποτελέσματα σε διαφορετικές μορφές και να αξιοποιηθούν ως κείμενα, γραφικές παραστάσεις, βίντεο ή e-mail.

Ο πιο κλασικός τρόπος αναπαράστασης του μοντέλου είναι με την μορφή ισοστατικών επιφανειών χρησιμοποιώντας την χρωματική κλίμακα. Για παράδειγμα,

με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να αναπαραστήσουμε τις διάφορες καταπονήσεις στο μοντέλο και να δώσουμε έμφαση, ανάλογα με την ένταση του χρώματος που θα διαλέξουμε, στις περιοχές όπου εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις των τάσεων.

5.5 Στάδια μοντελοποίησης

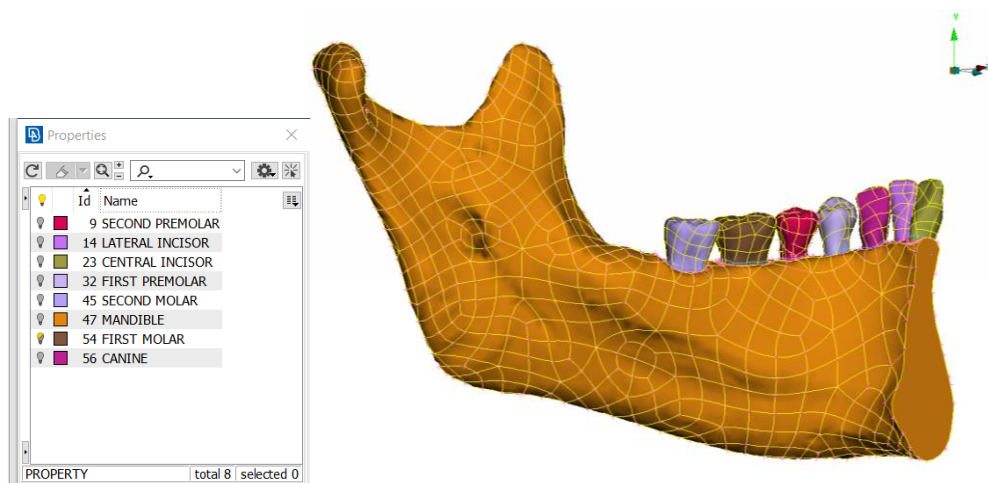
Για την μοντελοποίηση της κατασκευής μας ακολουθήσαμε τα παρακάτω βήματα:

- ✓ Καθορισμός γεωμετρίας του μοντέλου.
- ✓ Επιλογή του τύπου των πεπερασμένων στοιχείων, διακριτοποίηση της γεωμετρίας σε πεπερασμένα στοιχεία και δημιουργία επιφανειακού πλέγματος.
- ✓ Δημιουργία στοιχείων όγκου.
- ✓ Επιλογή του τρόπου επίλυσης και εισαγωγή φορτίσεων.
- ✓ Εισαγωγή των μηχανικών ιδιοτήτων και των οριακών συνθηκών της γεωμετρίας.
- ✓ Ανάγνωση των αποτελεσμάτων.
- ✓ Συμπεράσματα

Η διαδικασία μοντελοποίησης αναλύεται λεπτομερώς στις επόμενες ενότητες.

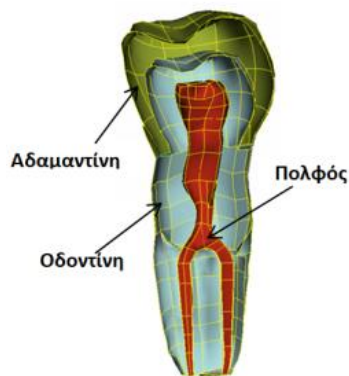
5.6 Περιγραφή γεωμετρίας μοντέλου

Το αρχικό μοντέλο της κάτω γνάθου που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη της διπλωματικής εργασίας αναπαριστά το μισό, συμμετρικό κομμάτι της κάτω γνάθου. Σε αυτό το κομμάτι περιλαμβάνεται το συμπαγές οστό, καθώς επίσης και τα τμήματα της μύλης και της ρίζας των δοντιών που ανήκουν σε αυτό το τμήμα της κάτω γνάθου. Η γεωμετρία του μοντέλου μας ήταν εξαρχής χωρισμένη σε διαφορετικά τμήματα (part) για την ευκολότερη μοντελοποίηση της (Βλέπε Εικόνα 5-1).



Εικόνα 5-1 : Περιγραφή Γεωμετρίας του Μοντέλου

Στο εσωτερικό μέρος των δοντιών είχε δημιουργηθεί γεωμετρία ώστε να προσδιορίσει και να χωρίσει το δόντι σε τρία τμήματα. Τα τμήματα αυτά είναι η αδαμαντίνη, η οδοντίνη και ο πολφός. Η προσέγγιση δεν αποτυπώνει την ακριβή αναπαράσταση του εσωτερικού ενός δοντιού, αλλά είναι αρκετά ικανοποιητική προκειμένου να μας δώσει μια αποτελεσματικότερη ανάλυση του μοντέλου. Στην Εικόνα φαίνεται η εσωτερική γεωμετρία του πρώτου γομφίου της κάτω γνάθου. Με παρόμοιο τρόπο έχει αναπαρασταθεί η γεωμετρία και για τα υπόλοιπα δόντια του μοντέλου.



Εικόνα 5-2: Γεωμετρία του Εσωτερικού των Δοντιών

Η παρουσία των τρίτων γομφίων έχει παραλειφθεί και δεν αναπαριστώνται στο συγκεκριμένο μοντέλο. Σαν δόντια είναι δύσκολο να αναπαρασταθούν καθώς διαφέρουν ως προς την μορφή τους από άτομο σε άτομο. Επίσης, τις περισσότερες φορές, εξαιτίας έλλειψης χώρου στη στοματική κοιλότητα, είτε δεν ανατέλλουν καθόλου στη μόνιμη οδοντοφυΐα είτε αφαιρούνται λόγω πρόκλησης διαφόρων βλαβών στην οδοντοστοιχία. Για αυτό το λόγο συμπεριλαμβάνονται σπανίως στις ερευνητικές εργασίες και μελέτες.

Η κάτω γνάθος αναπαρίσταται μόνο από το συμπαγές οστό. Επειδή δεν υπήρχαν δεδομένα από αξονικές τομογραφίες ασθενών προκειμένου να συλλέξουμε στοιχεία, δεν ήταν δυνατή και η σχεδίαση του σπογγώδες οστού στο εσωτερικό της κάτω γνάθου.

Σε όλη τη διαδικασία της προσομοίωσης γίνεται η παραδοχή ότι τιμές των μέγιστων επιφανειών σύγκλισης και των μέγιστων δυνάμεων είναι ίδιες και για τις δύο πλευρές της κάτω γνάθου.

5.7 Καθορισμός γεωμετρίας μοντέλου

Σε πρώτο στάδιο, εισήχθησαν οι επιφάνειες των σημείων επαφής που αναπτύσσονται στα δόντια της κάτω γνάθου. Καθορίστηκε η τιμή της μέγιστης επιφάνειας σύγκλισης και αναπαραστάθηκε στο μοντέλο σε ελλειψοειδή μορφή. Το πλέγμα συνδέθηκε με την γεωμετρία έτσι ώστε κάθε εισαγωγή του σημείου της επιφάνειας να αντανακλάται και στο πλέγμα. Η τιμή που χρησιμοποιήθηκε για την μέγιστη επιφάνεια σύγκλισης, είναι μια μέση τιμή μεταξύ του εύρους που έχει παρουσιαστεί στον Πίνακα 3-5. Η μέση αυτή τιμή κατανεμήθηκε δυσανάλογα πάνω στην επιφάνεια του κάθε δοντιού, ανάλογα κάθε φορά με την γεωμετρία που παρουσίαζε το εκάστοτε φύμα ή βοθρίο, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5-1.

Πίνακας 5-1 : Μέση Τιμή των Επιφανειών Σύγκλισης

	ΤΥΠΟΣ ΔΟΝΤΙΟΥ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (mm ²)
Κεντρικός τομέας		1,8
Πλάγιος τομέας		1,8
Κυνόδοντας		1,8
Πρώτος προγόμφιος		3,55
Δεύτερος προγόμφιος		5,95
Πρώτος γομφίος		15,2
Δεύτερος γομφίος		12,5

Το πλέγμα του μοντέλου, καθορίστηκε αρχικά από τους αυτοματοποιημένους αλγόριθμους που περιέχονται στο λογισμικό του ANSA. Παράλληλα, το κενό που υπήρχε μεταξύ των δοντιών και του οστού της γνάθου καλύφθηκε προκειμένου να αναπαρασταθεί ο περιοδοντικός σύνδεσμος. Αφού ολοκληρωθούν αυτές οι ενέργειες, δημιουργείται και το υπόλοιπο τμήμα της κάτω γνάθου ώστε να έχουμε ένα πλήρες μοντέλο. Το υπόλοιπο μισό της κάτω γνάθου δημιουργήθηκε με αντικατοπτρισμό της ήδη υπάρχουσας επιφάνειας, αφού το μοντέλο μας αποτελεί ήδη το μισό κομμάτι της κάτω γνάθου.

5.8 Διακριτοποίηση γεωμετρίας

Λόγω του διαφορετικού μεγέθους ως προς την γεωμετρία το πλέγμα που θα σχηματιστεί στα δόντια πρέπει να είναι πυκνότερο από αυτό της γνάθου. Έτσι έγινε η δημιουργία δύο σεναρίων, ώστε να σχηματιστούν δύο διαφορετικά πλέγματα, ένα για την γνάθο κι ένα για τα δόντια.

Κατά την διαδικασία δημιουργίας των σεναρίων πρέπει να καθοριστούν οι παράμετροι της γεωμετρίας (mesh parameters) και τα κριτήρια ποιότητας (quality criteria). Οι παράμετροι γεωμετρίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-2 .

Πίνακας 5-2 : Παράμετροι Γεωμετρίας του Πλέγματος του Μοντέλου της Κάτω Γνάθου

Παράμετροι Πλέγματος	Γνάθος	Δόντια
Mesh Type	CFD Mesh	Solids Structural Mesh
Element Type	tria	tria
Growth rate	1,2	-
Target length	-	0,5

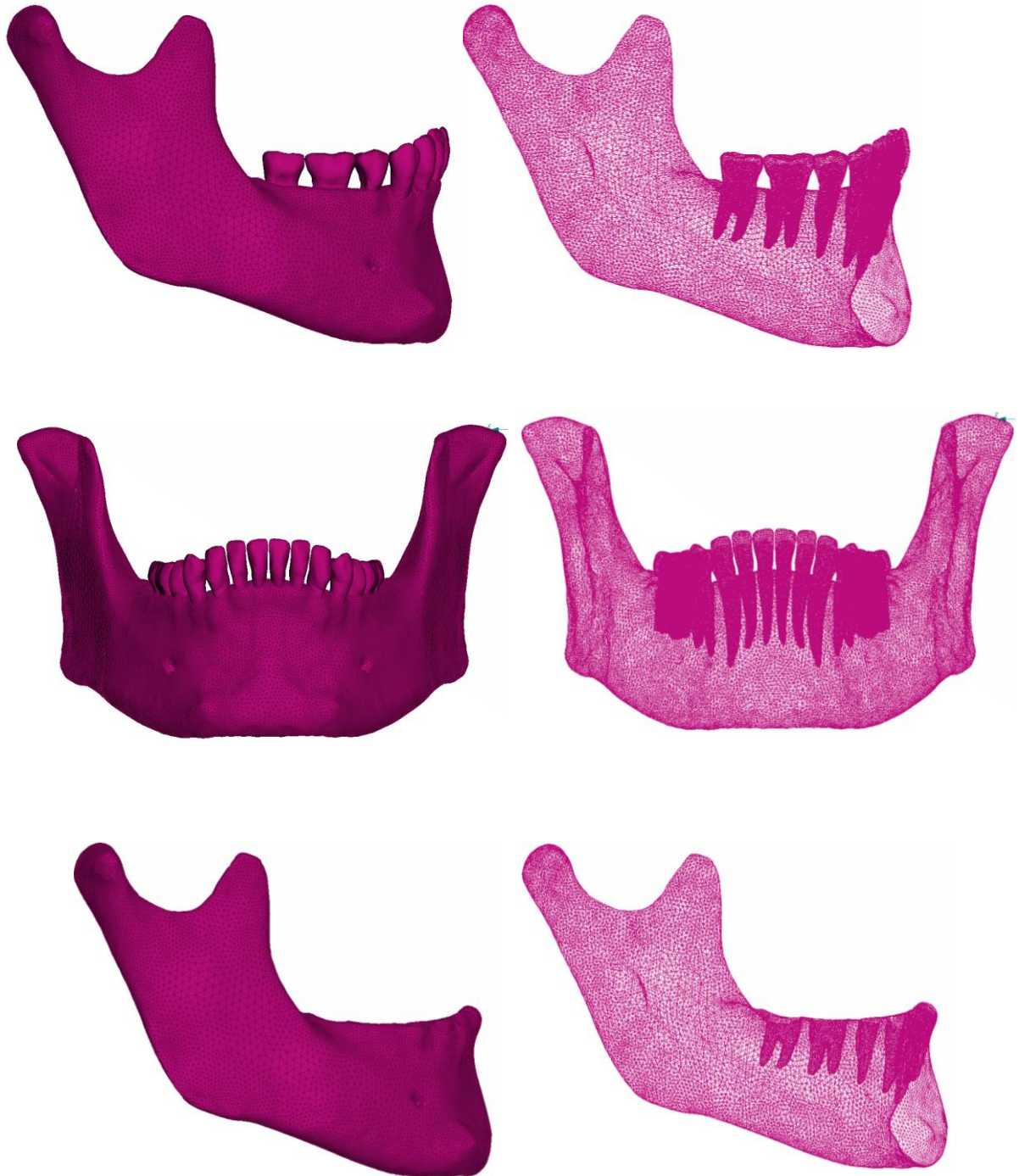
Τα κριτήρια ποιότητας πρέπει να οριστούν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του επιλυτή που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση. Στην δική μας περίπτωση τα κριτήρια ποιότητας του Abaqus [32] παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-3 .

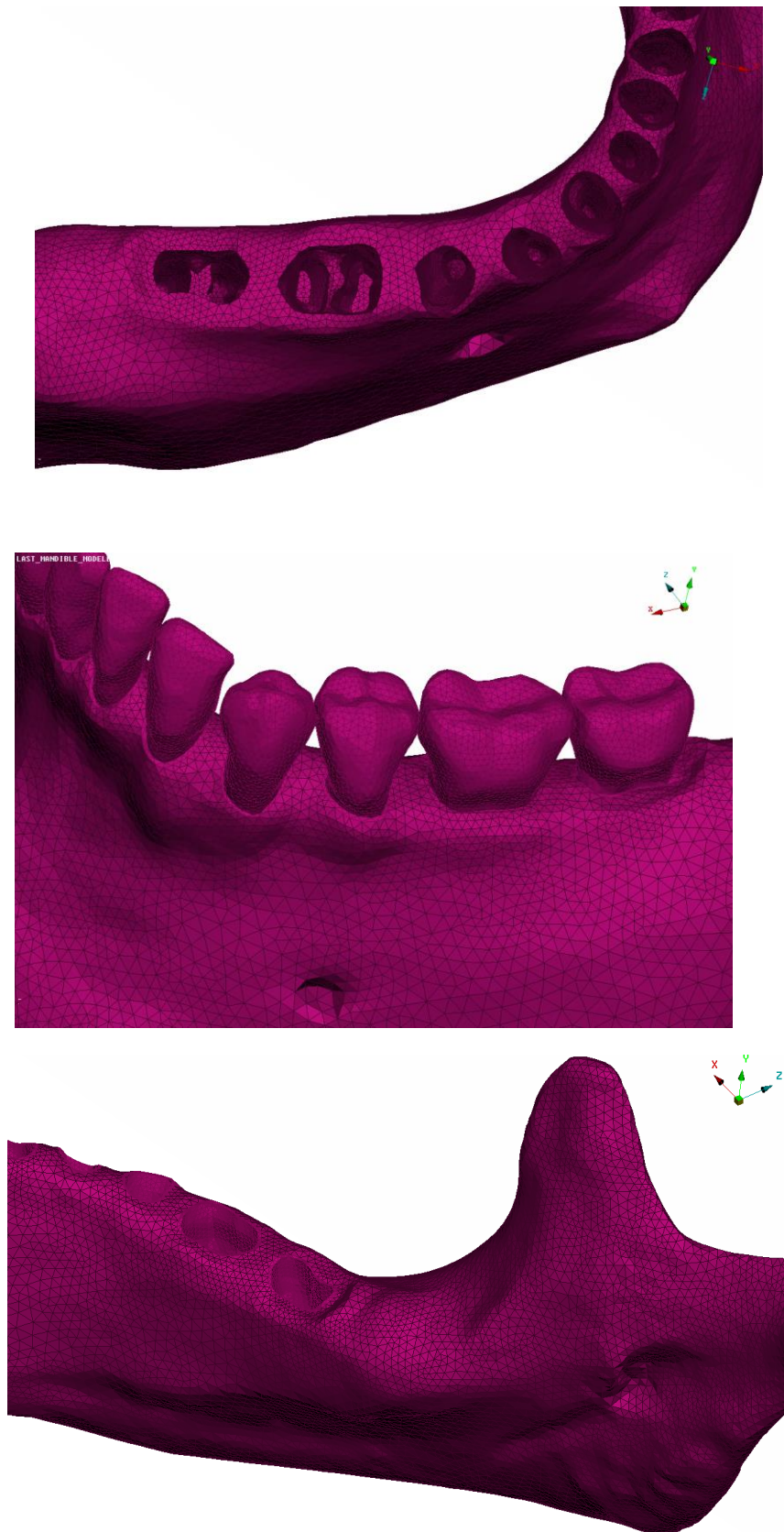
Πίνακας 5-3: Κριτήρια Ποιότητας του Πλέγματος του Μοντέλου Γνάθου της Κάτω Γνάθου

Κριτήρια Ποιότητας	Τριγωνικά Στοιχεία
aspect ratio	10
Skewness (shape factor)	0.01
Min angle trias	5
Max angle trias	170

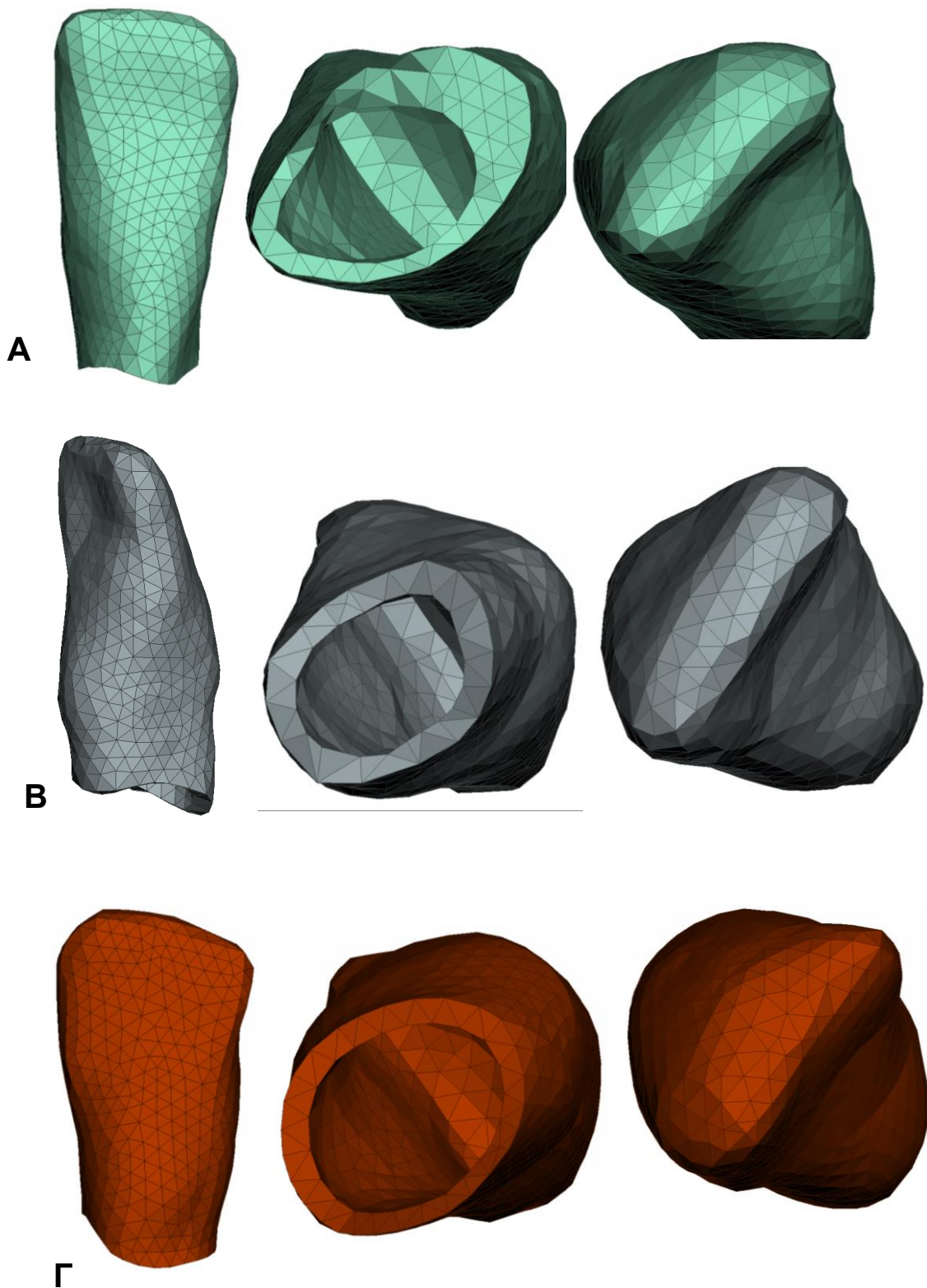
Σε κάθε περίπτωση, μετά τον σχηματισμό του πλέγματος από το σενάριο, ο βέλτιστος σχεδιασμός προκύπτει μετά από πολλές επαναληπτικές προσπάθειες με τη χρήση αλγορίθμων βελτιστοποίησης ώστε να προσαρμόζεται στην εκάστοτε γεωμετρία. Μεγάλη έμφαση δόθηκε στο σχηματισμό του πλέγματος στην περιοχή της γνάθου γύρω από τα δόντια, που ο χώρος είναι μικρός και απαιτεί πιο πυκνό πλέγμα για την εξαγωγή καλύτερων συμπερασμάτων. Στις Εικόνες 5-3 έως 5-14 παρουσιάζεται η διακριτοποίηση του μοντέλου της κάτω γνάθου.

Εικόνα 5-3 : Επεξεργασία του Μοντέλου της Κάτω Γνάθου

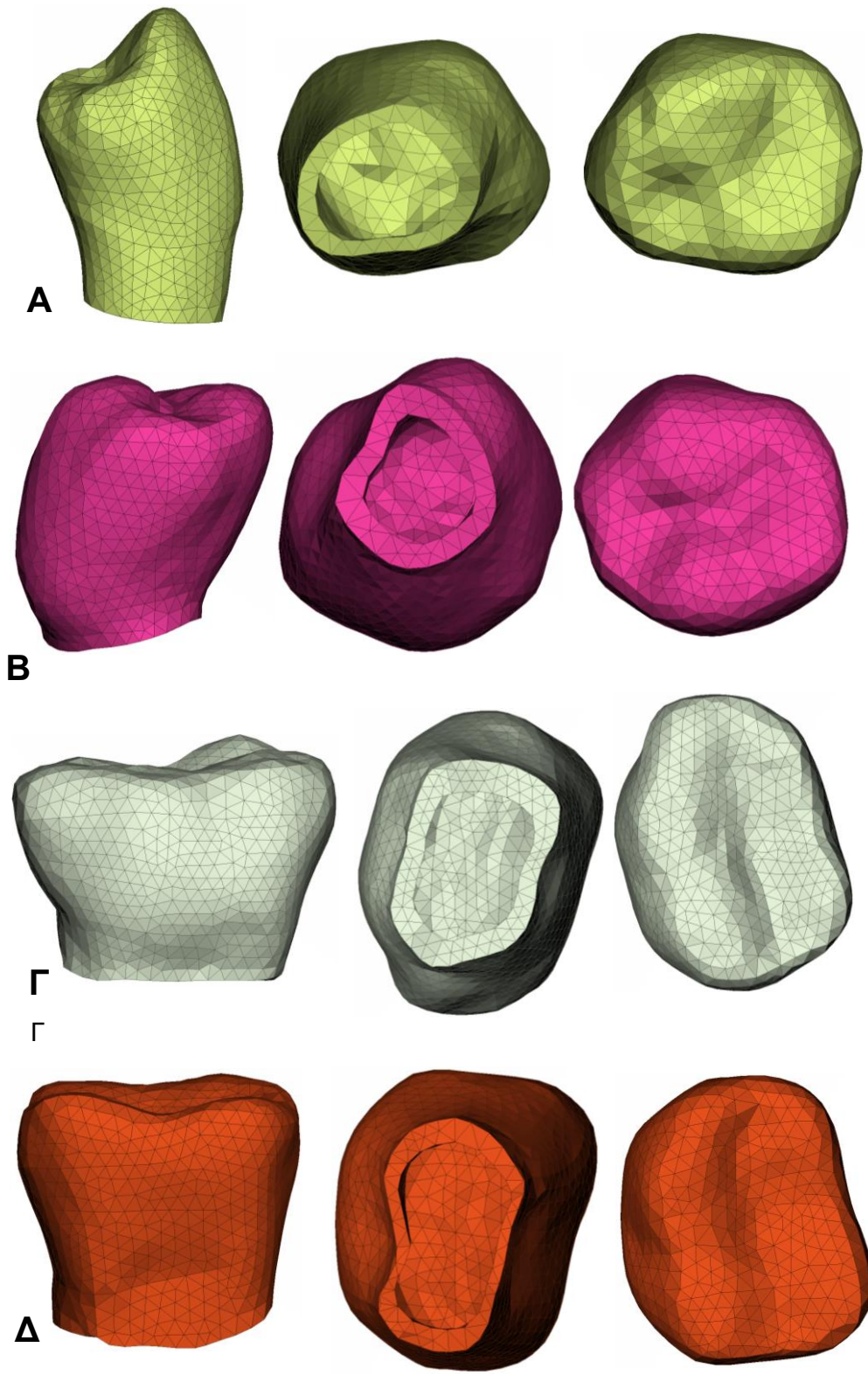




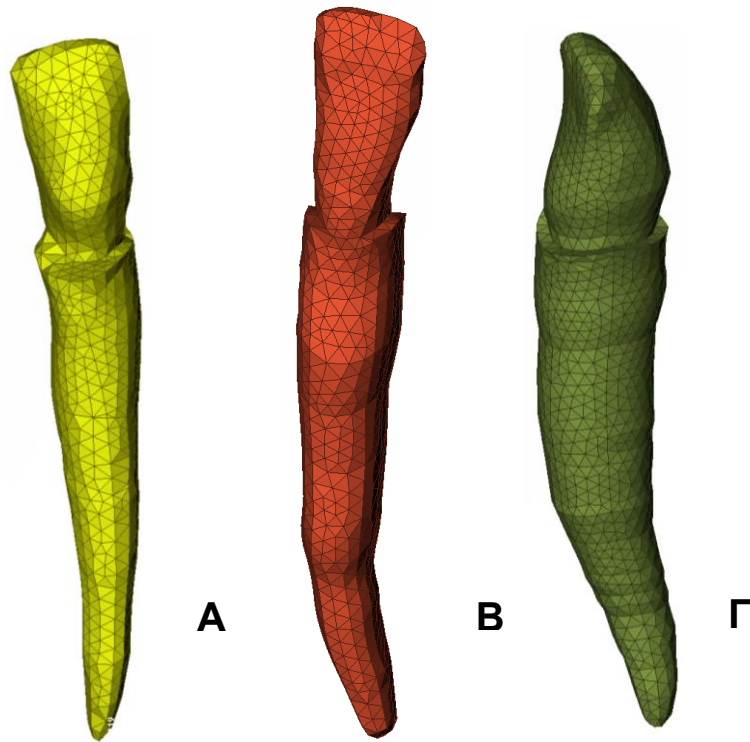
Εικόνα 5-4 : Πλεγματοποίηση του Οστού της Κάτω Γνάθου



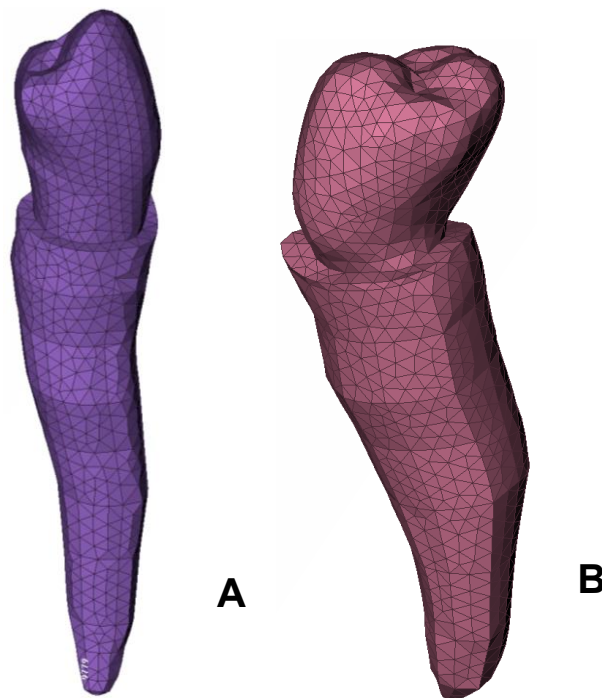
Εικόνα 5-5 : Πλεγματοποίηση της Αδαμαντίνης των Πρόσθιων Δοντιών της Κάτω Γνάθου, όπου Α: κεντρικός τομέας, Β: πλευρικός τομέας, Γ: κυνόδοντας



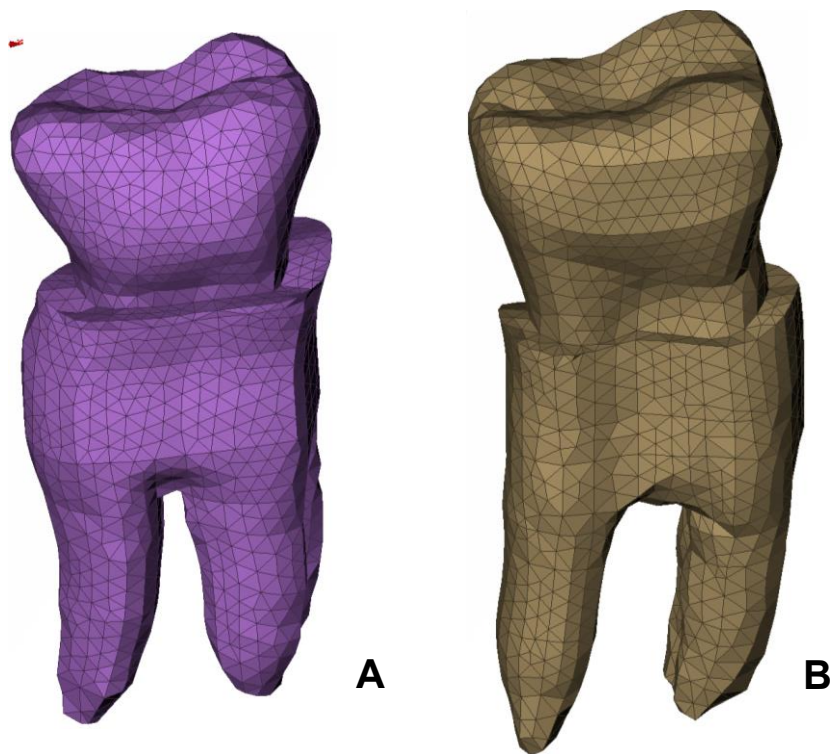
Εικόνα 5-6 : Πλεγματοποίηση της Αδαμαντίνης των Οπίσθιων Δοντιών της Κάτω Γνάθου, όπου Α : Πρώτος Προγόμφιος, Β: Δεύτερος Προγόμφιος, Γ: Πρώτος Γομφίος, Δ: Δεύτερος Γομφίος



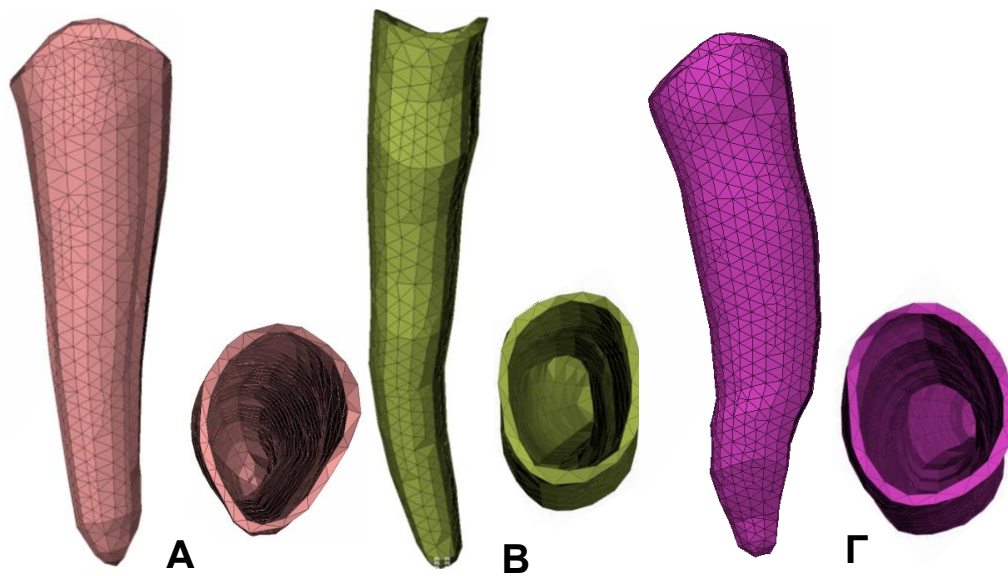
Εικόνα 5-8 : Πλεγματοποίηση της Οδοντίνης των Πρόσθιων Δοντιών της Κάτω Γνάθου, όπου Α: Κεντρικός Τομέας, Β: Πλευρικός Τομέας, Γ: Κυνόδοντας



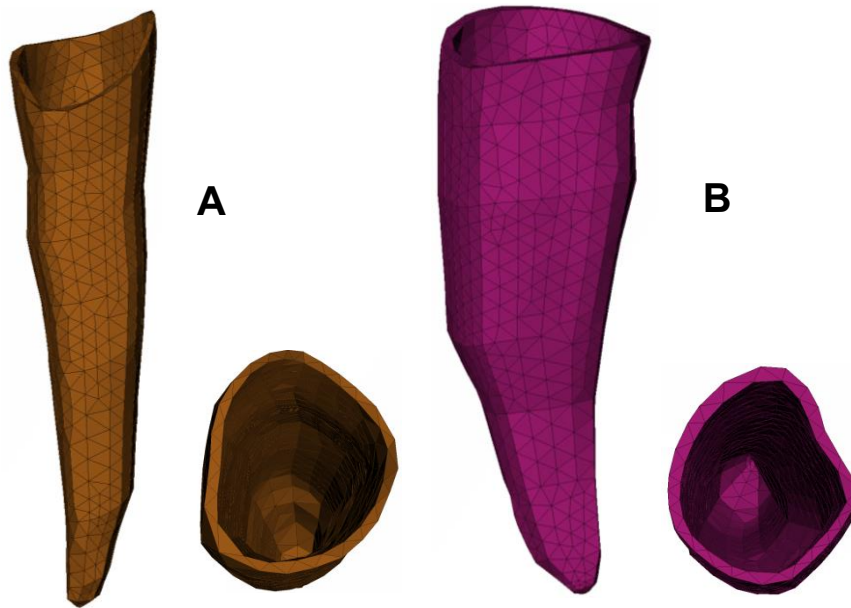
Εικόνα 5-7 : Πλεγματοποίηση της Οδοντίνης του Πρώτου (Α) και Δεύτερου (Β) Προγομφίου της Κάτω Γνάθου



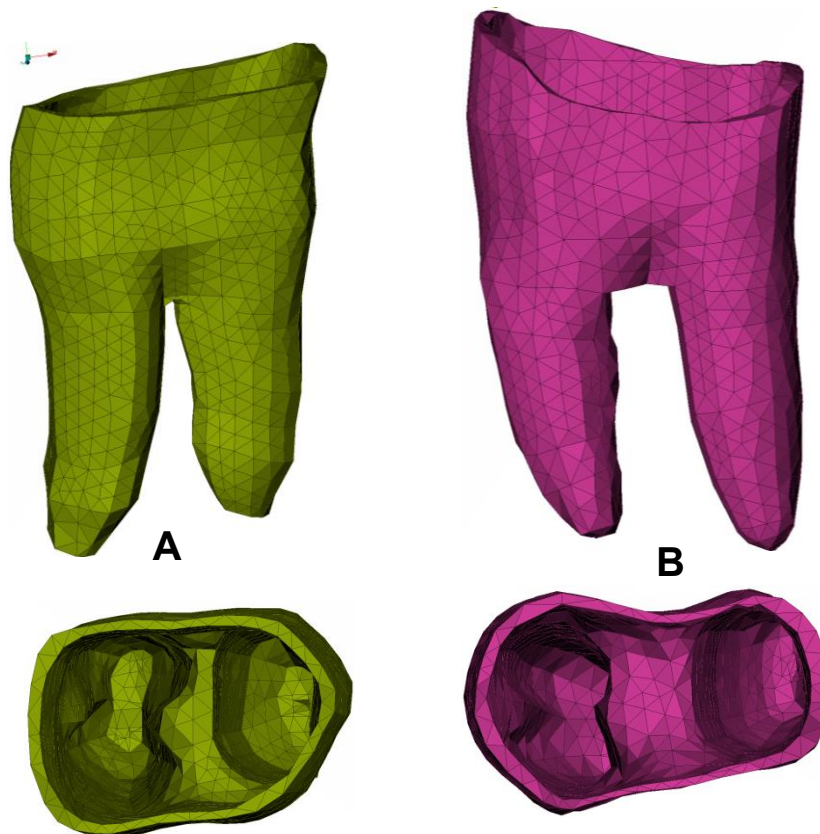
Εικόνα 5-9: Πλεγματοποίηση της Οδοντίνης του Πρώτου (Α) και Δεύτερου (Β) Γομφίου της Κάτω Γνάθου



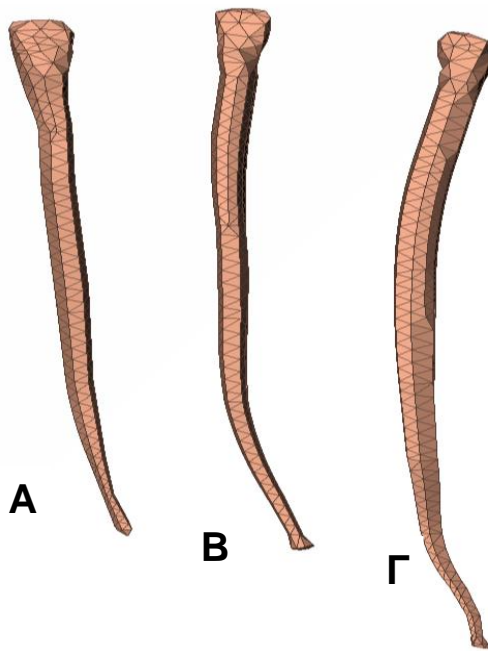
Εικόνα 5-10: Πλεγματοποίηση του Περιodontικού Συνδέσμου των Πρόσθιων Δοντιών της Κάτω Γνάθου, όπου Α: Κεντρικός Τομέας, Β: Πλευρικός Τομέας, Γ: Κυνόδοντας



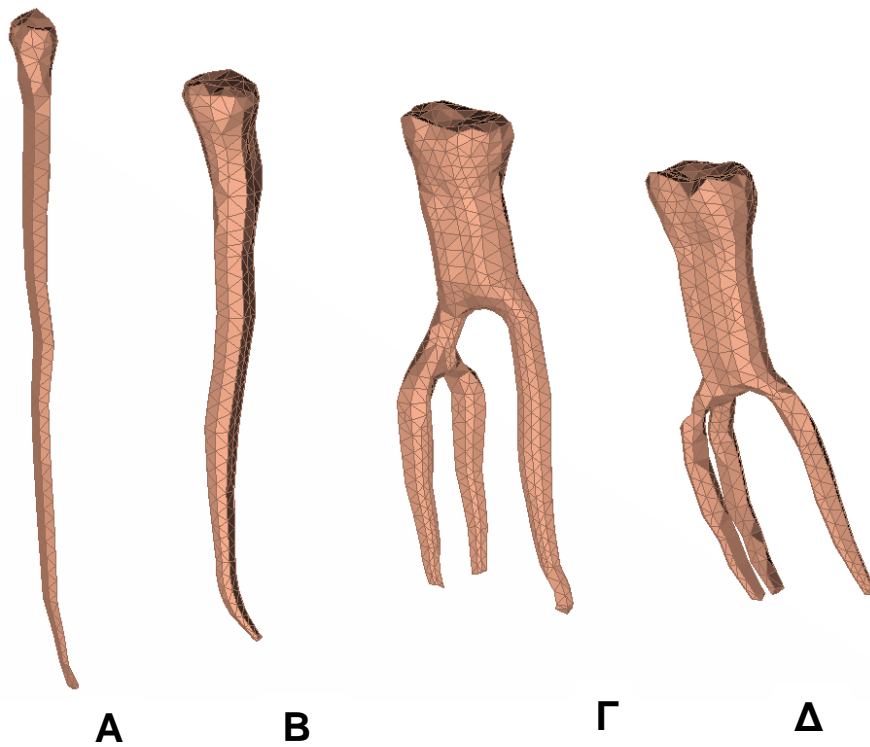
Εικόνα 5-11: Πλεγματοποίηση του Περιodontικού Συνδέσμου του Πρώτου (A) και Δεύτερου (B) Προγομφίου της Κάτω Γνάθου



Εικόνα 5-12 : Πλεγματοποίηση του Περιodontικού Συνδέσμου του Πρώτου (A) και Δεύτερου (B) Γομφίου της Κάτω Γνάθου



Εικόνα 5-13: Πλεγματοποίηση του Πολφού των Πρόσθιων Δοντιών της Κάτω Γνάθου, όπου Α: Κεντρικός Τομέας, Β: Πλευρικός Τομέας, Γ: Κυνόδοντας



Εικόνα 5-14 : Πλεγματοποίηση του Πολφού των Οπίσθιων Δοντιών της Κάτω Γνάθου, όπου Α : Πρώτος Προγόμφιος, Β: Δεύτερος Προγόμφιος, Γ: Πρώτος Γομφίος, Δ: Δεύτερος Γομφίος

5.9 Δημιουργία στοιχείων όγκου

Αφού έχει δημιουργηθεί το πλέγμα και έχει πραγματοποιηθεί έλεγχος για τυχόν σφάλματα ως προς την γεωμετρία, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν τα στοιχεία όγκου της γεωμετρίας. Όλα τα τμήματα της γεωμετρίας του μοντέλου, ορίστηκαν ως συμπαγή και η διακριτοποίησή τους πραγματοποιήθηκε σε χωρικά τετραεδρικά στοιχεία.

Η δημιουργία στοιχείων όγκου της γεωμετρίας απαιτεί την εισαγωγή παραμέτρων για την δημιουργία του όγκου όπως επίσης και κριτήρια ποιότητας που θα ικανοποιούν τη λειτουργία του Abaqus [32]. Οι παράμετροι για την δημιουργία στοιχείων όγκου παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-4 και τα κριτήρια ποιότητας για το Abaqus στον Πίνακα 5-5.

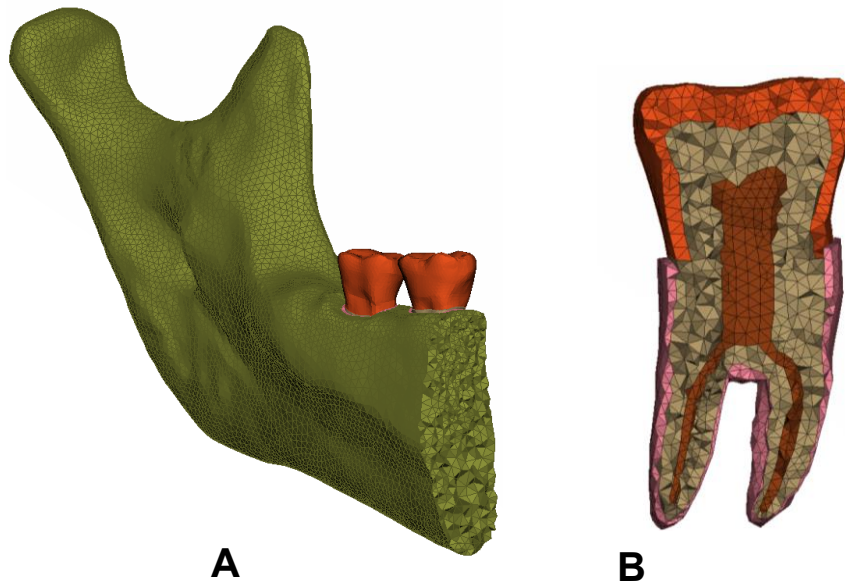
Πίνακας 5-4 : Παράμετροι για την Δημιουργία Στοιχείων Όγκου

Παράμετροι Όγκου	Τιμές
Volume Type	Unstructured
Mesh Type	Tetra Rabbit
Max growth rate	1,2

Πίνακας 5-5 : Κριτήρια Ποιότητας για την Δημιουργία Στοιχείων Όγκου

Κριτήρια Ποιότητας	Τετραεδρικά Στοιχεία
Aspect ratio	10
Skewness (shape factor)	0.01
Min angle tetras	5
Max angle tetras	170

Στο μοντέλο μας δημιουργήθηκαν στοιχεία όγκου για το οστό της κάτω γνάθου και για κάθε δόντι δημιουργήθηκαν στοιχεία όγκου για κάθε επιμέρους τμήμα της αδαμαντίνης, της οδοντίνης και του πολφού όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5-15. Με τον ίδιο τρόπο έχουν δημιουργηθεί και οι όγκοι για τα υπόλοιπα δόντια της κάτω γνάθου.



Εικόνα 5-15 : Δημιουργία Στοιχείων Όγκου στα Επιμέρους Τμήματα του Μοντέλου της Κάτω Γνάθου, όπου Α: τμήμα της κάτω γνάθου, Β: τμήμα του δοντιού του πρώτου γομφίου

5.10 Επιλογή του τρόπου επίλυσης και εισαγωγή των φορτίσεων

Όπως αναφέρθηκε, το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυση είναι το Abaqus. Η επίλυση του μοντέλου θα γίνει με στατική καταπόνηση. Επομένως, επομένως εκτός από τις τιμές των επιφανειών σύγκλισης πρέπει να δοθούν και οι αντίστοιχες φορτίσεις. Μέσω των συναρτήσεων που προσφέρει θα εισαχθούν τα φορτία που ασκούνται κατά την μέγιστη συναρμογή στις επιφάνειες των δοντιών, σύμφωνα με την αλληλουχία του χρόνου επαφών.

Στόχος αυτής της εργασίας, ήταν ο προσδιορισμός των μέγιστων δυνάμεων δήξης που εμφανίζονται κατά τη φάση του κύκλου μάσησης. Η κατεύθυνση των φορτίων αλλάζει ανάλογα με την φάση του κύκλου μάσησης. Στη φάση της μέγιστης συναρμογής μπορούμε να υποθέσουμε ότι ενεργεί μια δύναμη συμπίεσης μεταξύ των ανταγωνιστικών δοντιών, η οποία μπορεί να αναπαρασταθεί ως κάθετο φορτίο.

Για την προσομοίωση χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι τιμές των μέγιστων κάθετων δυνάμεων καθώς δεν υπήρχαν επαρκείς πληροφορίες στη βιβλιογραφία όσον αφορά την τιμή των επιφανειών σύγκλισης και του χρόνου εμφάνισης των πλευρικών δυνάμεων. Ενώ ασκήθηκαν οι ίδιες φορτίσεις για την αριστερή και δεξιά πλευρά της οδοντοστοιχίας.

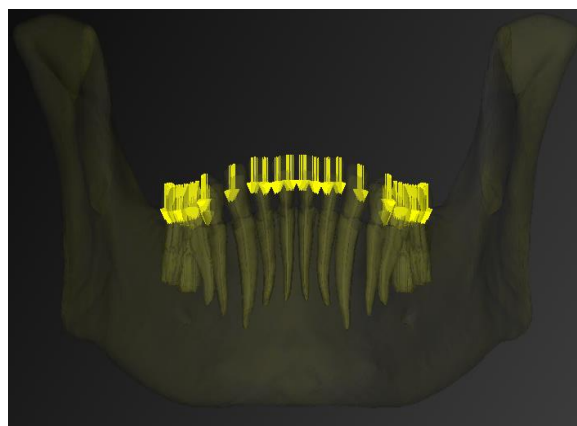
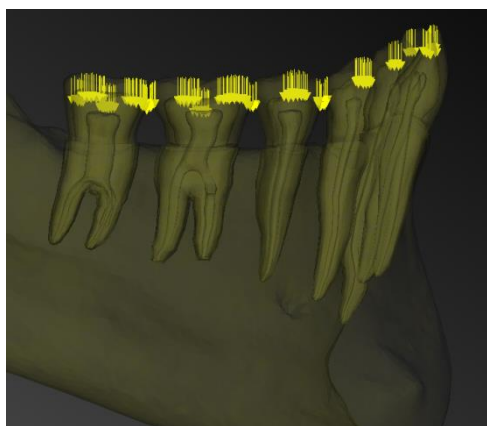
Ως τιμή για τις φορτίσεις, εισάγεται μια μέση τιμή από το εύρος των μέγιστων κάθετων δυνάμεων δήξης του Πίνακα 2-13. Η τιμή της δύναμης δήξης είναι ανάλογη της επιφάνειας στην οποία εφαρμόζεται. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της επιφάνειας τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η τιμή της δύναμης που θα ασκείται στο συγκεκριμένο σημείο. Οι τιμές των δυνάμεων έχουν κατανεμηθεί ομοίμορφα σε κάθε κόμβο των επιφανειών σύγκλισης ανάλογα με την γεωμετρία της επιφάνειας,

λαμβάνοντας υπόψη και τις τιμές του συντελεστή βαρύτητας, Σε κάθε περίπτωση, το σημείο που βρίσκεται στο κέντρο εφαρμογής της δύναμης θα παρουσιάζει μεγαλύτερη τιμή κι όσο απομακρυνόμαστε από αυτό, το φορτίο κάθε κόμβου θα αρχίζει να εξασθενεί. Στον Πίνακα 5-6 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των μέγιστων κάθετων δυνάμεων που εφαρμόστηκαν στο σύστημα.

Πίνακας 5-6: Μέσες Τιμές των Κάθετων Δυνάμεων Δήξης που Εφαρμόστηκαν στο Μοντέλο της Γνάθου

Τύπος Δοντιού	Μέσο Εύρος Δύναμης (N)
Κεντρικός Τομέας	191,25
Πλευρικός Τομέας	198,55
Κυνόδοντας	226,15
Πρώτος Προγόμφιος	400,6
Δεύτερος Προγόμφιος	281,65
Πρώτος Γομφίος	506,025
Δεύτερος Γομφίος	335,65

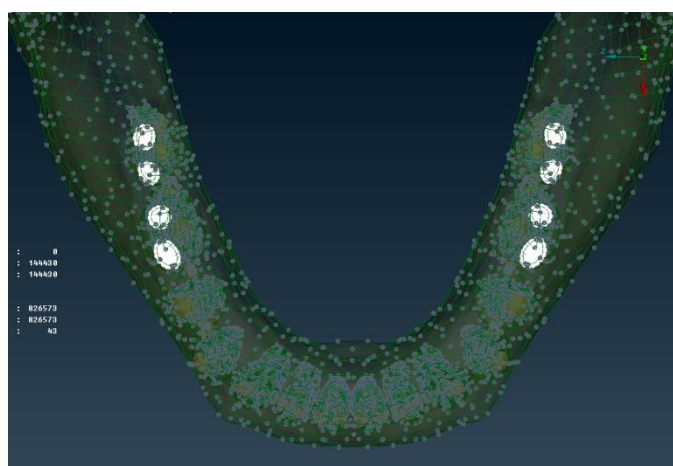
Οι φορτίσεις του μοντέλου παρουσιάζονται στις Εικόνες 5-16 .



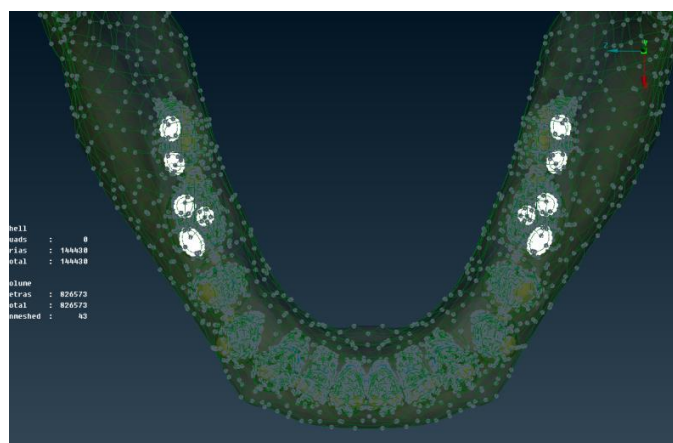
Εικόνα 5-16 : Κάθετες Φορτίσεις στο Μοντέλο της Κάτω Γνάθου

Στην εμφάνιση των φορτίσεων, σημαντικό παράγοντα παίζει και ο χρόνος των επαφών. Κατά τη φάση της μέγιστης συναρμογής οι επαφές ξεκινούν από μηδενικό χρόνο και ολοκληρώνονται στα 0,03 sec. Στο χρονικό αυτό διάστημα, έχουν κατηγοριοποιηθεί ήδη οι συγκλεισιακές επαφές παρουσιάζονται ανά 0,01 sec, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4-3. Επειδή δεν υπάρχει η παρουσία των τρίτων γομφίων στο μοντέλο μας, οι φορτίσεις θα αναπαρασταθούν από την στιγμή των επαφών για τους δεύτερους γομφίους.

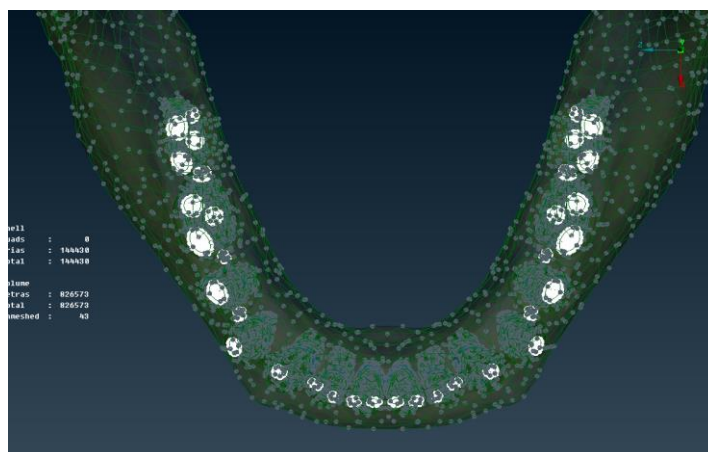
Επομένως για την αναπαράσταση του χρόνου επαφών είναι αρκετή δημιουργία τριών βημάτων φόρτισης (steps). Το πρώτο βήμα (STEP1) θα αναφέρεται στον χρόνο 0 έως 0,01 sec (Βλέπε Εικόνα 5-17), το δεύτερο βήμα (STEP2) θα αναφέρεται στον χρόνο 0,01 έως 0,02 (Βλέπε Εικόνα 5-18) και το τρίτο βήμα (STEP3) θα αναφέρεται στον χρόνο 0,02 έως 0,03 sec (Βλέπε Εικόνα 5-19). Κάθε βήμα θα ενεργεί για ένα χρονικό διάστημα 0,01 δευτερολέπτων και περιλαμβάνει κάθε φορά τις ανάλογες φορτίσεις.



Εικόνα 5-17: Πρώτο Step Φορτίσεων για το Μοντέλο της Κάτω Γνάθου



Εικόνα 5-18: Δεύτερο Step Φορτίσεων για το Μοντέλο της Κάτω Γνάθου



Εικόνα 5-19: Τρίτο Step Φορτίσεων για το Μοντέλο της Κάτω Γνάθου

Πρέπει να τονιστεί, πως οι αρχικές φορτίσεις-επαφές εξακολουθούν να ασκούνται μέχρι να ολοκληρωθεί η φάση σύγκλισης. Επομένως, οι φορτίσεις του πρώτου βήματος, δηλαδή οι αρχικές επαφές, θα συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς για τη δεύτερο κύκλο φόρτισης πως επίσης και για τον τρίτο κύκλο φόρτισης. Το ίδιο ισχύει αντίστοιχα και για τον δεύτερο κύκλο φόρτισης.

5.11 Εισαγωγή μηχανικών ιδιοτήτων και οριακών συνθηκών στην γεωμετρία του μοντέλου

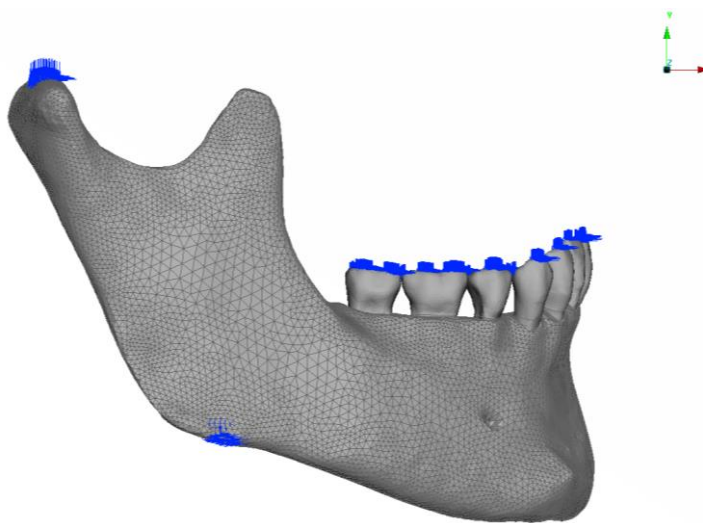
Για να μπορέσει να γίνει η ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, πρέπει να προσδιοριστούν οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών. Οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών θεωρήθηκαν γραμμικά ελαστικές, ομογενείς και ισότροπες [33]. Για να χαρακτηριστούν πρέπει να καθορισθεί το μέτρο ελαστικότητας του Young (E), ο λόγος Poisson (ν) και η πυκνότητα του κάθε στοιχείου. Οι μηχανικές ιδιότητες του κάθε στοιχείου παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-7.

Πίνακας 5-7 : Μηχανικές Ιδιότητες των επιμέρους Στοιχείων του Μοντέλου της Κάτω Γνάθου [33]

Υλικό	Μέτρο Ελαστικότητας Young (MPa)	Λόγος Poisson ν	Πυκνότητα (tn/mm ²)
Γνάθος	15750	0,33	1,5432E-9
Αδαμαντίνη	77900	0,33	3,3069E-9
Οδοντίνη	18600	0,31	2,4250E-9
Περιοδοντικός Σύνδεσμος	0,40	0,49	1,2125E-9
Πολφός	6,89	0,45	1,1023E-9

Στην προσομοίωση των δυναμικών φορτίων δήξης, οι οριακές συνθήκες αντιπροσωπεύουν τα φορτία που ασκούνται στις εξεταζόμενες επιφάνειες των δοντιών. Μπορούν να προσαρμοστούν, ανάλογα με τη φάση του κύκλου μάσησης που μας ενδιαφέρει να εξετάσουμε, δίνοντας μας αναλυτικότερα και ακριβέστερα αποτελέσματα στις μετρήσεις. Η ανάλυση της κίνησης της κάτω γνάθου, απαιτεί και την συμβολή των μυών που συμμετέχουν στις συνολικές δυνάμεις του συστήματος. Για τον προσδιορισμό των κατάλληλων οριακών συνθηκών κατά τη διάρκεια του κύκλου μάσησης, έχουν πραγματοποιηθεί παραμετρικές μελέτες σε διάφορες περιοχές και κατευθύνσεις της γνάθου. Οι δυνάμεις που εφαρμόζονται στα δόντια, διατηρούν τις συνθήκες στατικής ισορροπίας.

Η προσομοίωση του μοντέλου, πραγματοποιείται υπό την επίδραση στατικών συνθηκών φόρτισης. Κατά τη διάρκεια της μέγιστης συναρμογής, περιορίζονται όλοι οι βαθμοί ελευθερίας σε κάθε σημείο των δοντιών εκτός της μετατόπισης ως προς τον κάθετο άξονα (y) [34]. Προκειμένου να αναπαρασταθούν οι συνθήκες σύγκλεισης χωρίς την μοντελοποίηση της άνω γνάθου, τα δύο σημεία των κροταφογναθικών αρθρώσεων όπως επίσης και η οπίσθια περιοχή του οστού της κάτω γνάθου πακτώνονται, για να αποτραπεί η κίνηση σε οποιαδήποτε κατεύθυνση [34]. Οι οριακές συνθήκες που έχουν εφαρμοστεί στο μοντέλο παρουσιάζονται στην Εικόνα 5-20.



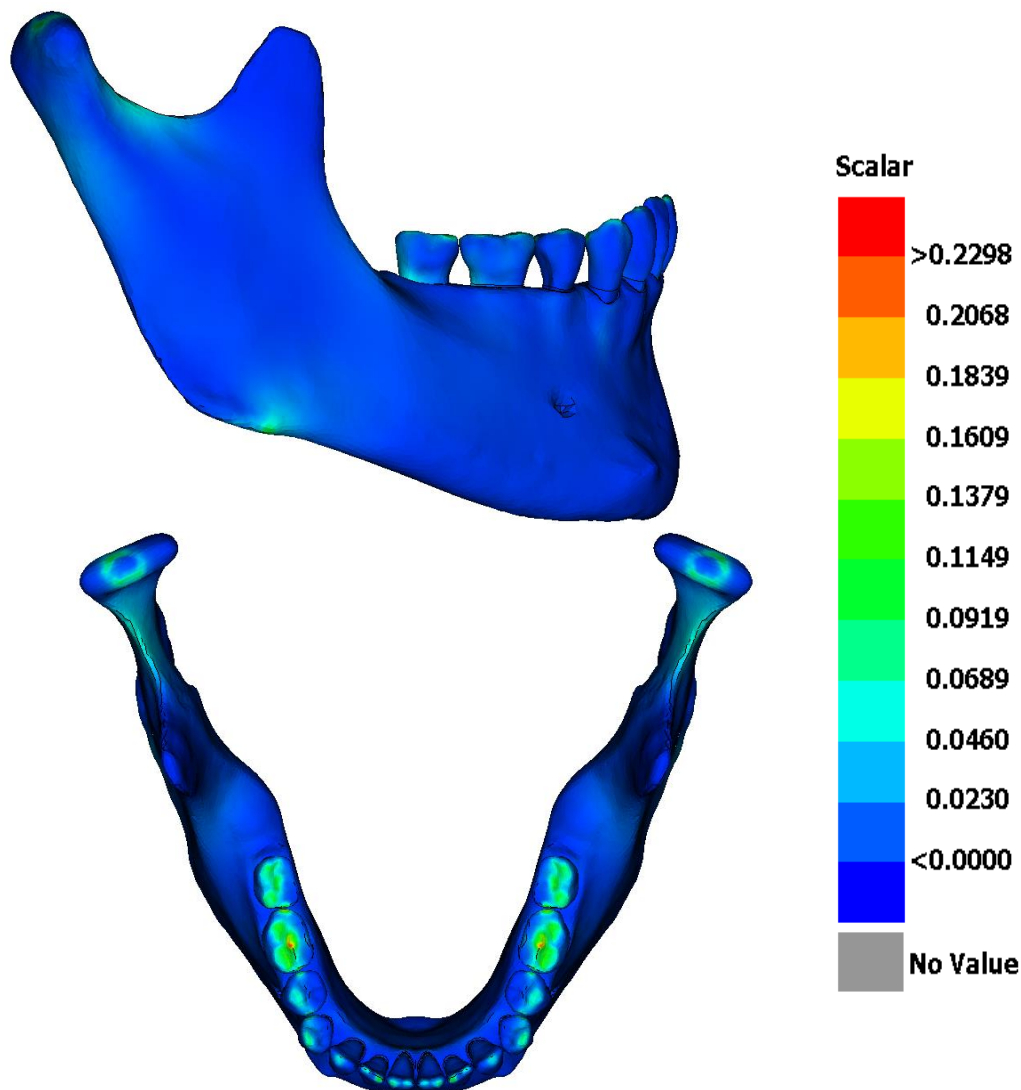
Εικόνα 5-20 : Οριακές Συνθήκες του Μοντέλου της Κάτω Γνάθου

6. Επίλυση του μοντέλου

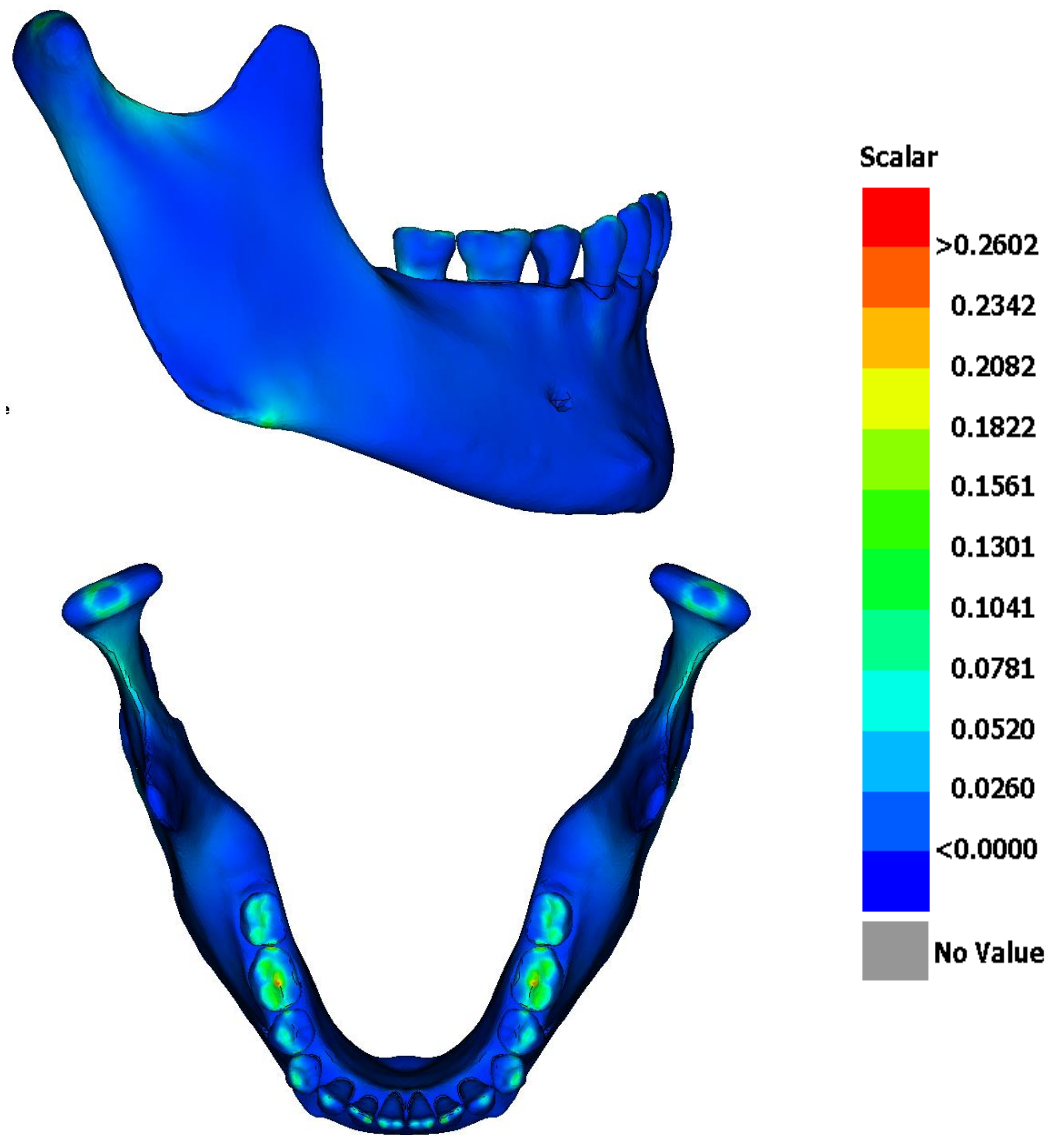
Αφού εισαχθούν όλα τα απαραίτητα δεδομένα σειρά έχει η επίλυση του μοντέλου και η αναπαράσταση του στον μΕτα επεξεργαστή. Τα κριτήρια από την ανάλυση των τάσεων Von Mises, έδειξαν ότι η μέγιστη συγκέντρωση τάσεων, για όλα τα βήματα της ανάλυσης, εντοπίζεται στην περιοχή των πρώτων γομφίων, συγκεκριμένα στο κεντρικό βοθρίο και στην περιοχή των πρώτων προγομφίων. Μέγιστες επαφές, εμφανίζονται και στη μασητική αγκάλη των οπίσθιων κυρίως δοντιών. Οι τάσεις ασκούνται με μεγαλύτερη πίεση στο κέντρο των σημείων σύγκλισης και εξασθενούν καθώς απομακρυνόμαστε από τον κεντρικό άξονα του σημείου επαφής.

6.1 Αμφίπλευρη φόρτιση του μοντέλου της κάτω γνάθου

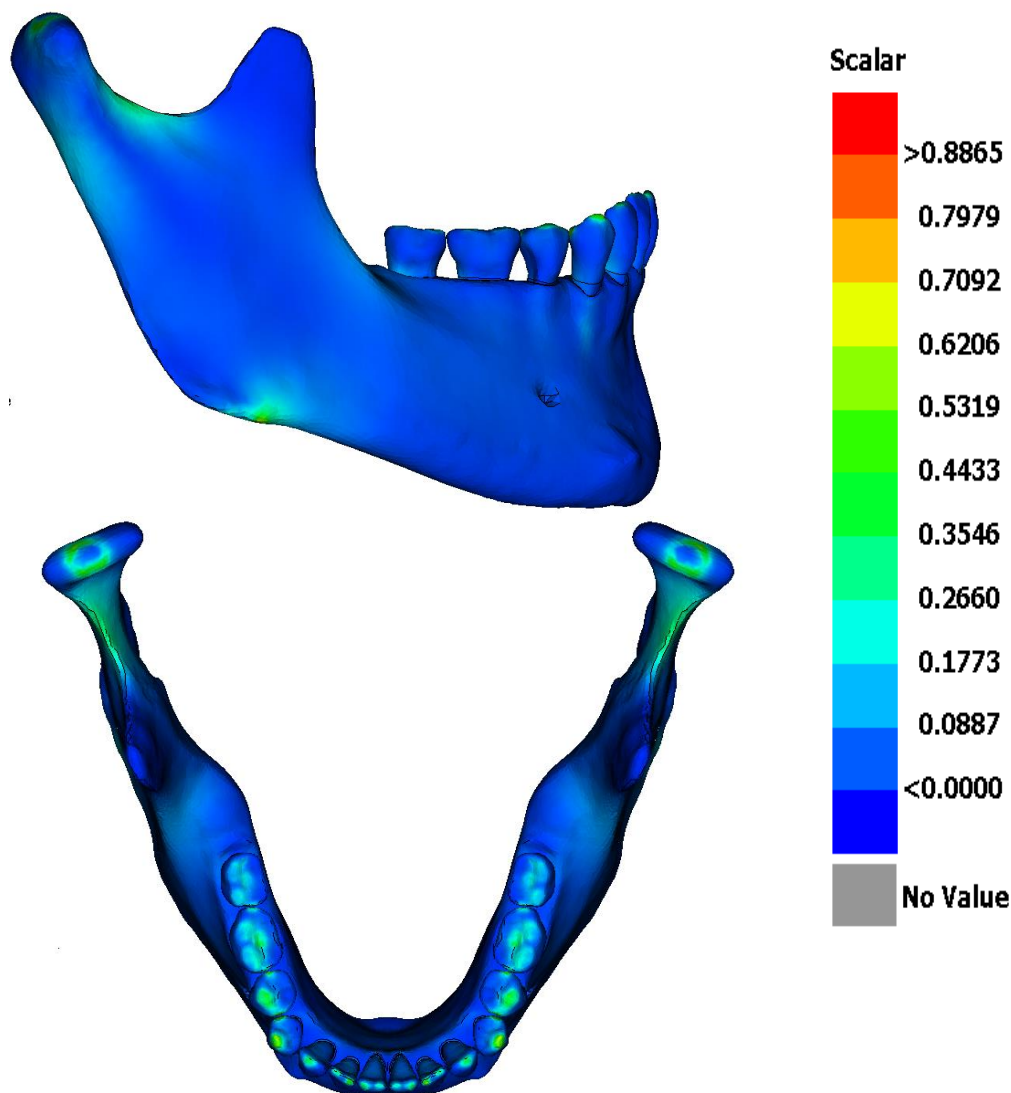
Στις Εικόνες 6-1 έως 6-2, παρουσιάζονται όλες οι τάσεις φόρτισης στο μοντέλο, έπειτα από την εφαρμογή αμφίπλευρων καταπονήσεων στην κάτω γνάθο, ανά βήμα φόρτισης.



Εικόνα 6-1: Αμφίπλευρη Φόρτιση Μοντέλου Στην Πρώτη Φάση Φόρτισης (STEP 1)



Εικόνα 6-2 : Αμφίπλευρη Φόρτιση Μοντέλου Στην Δεύτερη Φάση Φόρτισης (STEP 2)

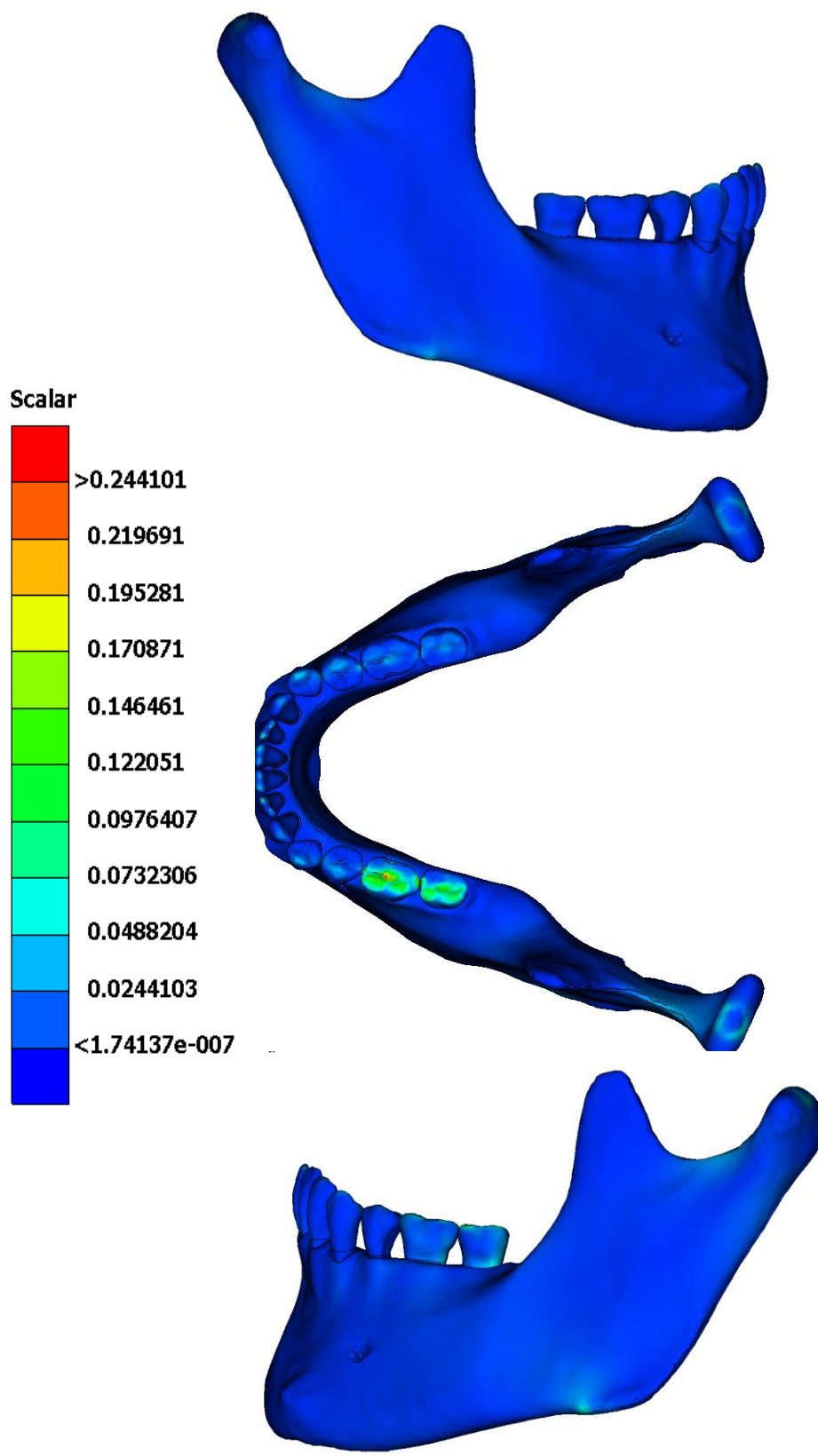


Εικόνα 6-3 : Αμφίπλευρη Φόρτιση Μοντέλου Στην Τρίτη Φάση Φόρτισης (STEP 3)

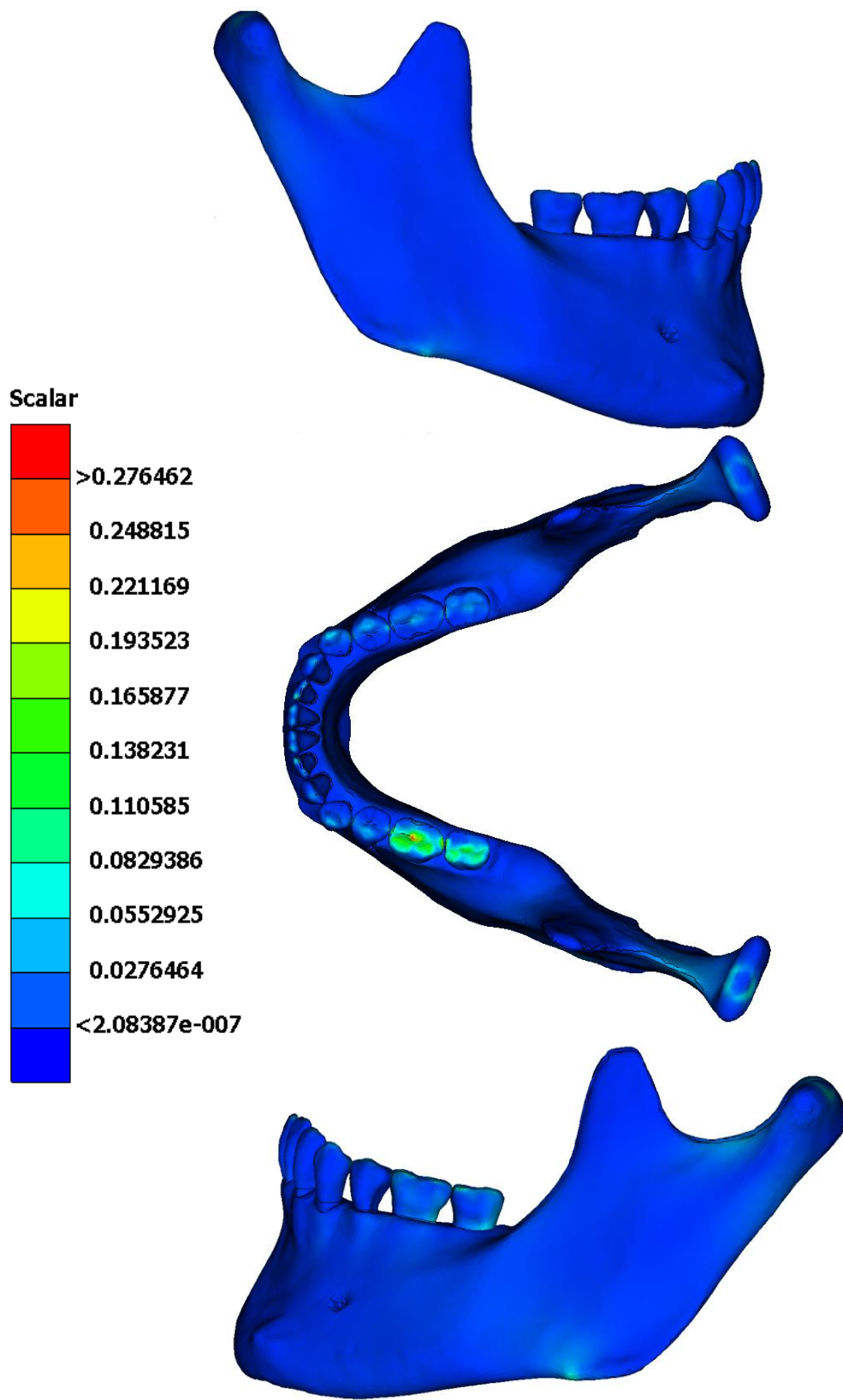
6.2 Μονόπλευρη φόρτιση του μοντέλου της κάτω γνάθου

Κατά κύριο λόγο, κατά τη διάρκεια της μάσησης, η επεξεργασία της τροφής λαμβάνει χώρα σε μια εκ των δύο πλευρών της κάτω γνάθου, γνωστή κι ως προτιμώμενη πλευρά μάσησης. Για αυτό το λόγο, προσομοιώθηκαν και οι καταπόνσεις του μοντέλου για μονόπλευρη φόρτιση της κάτω γνάθου. Οι φορτίσεις που εφαρμόστηκαν σε κάθε δόντι είναι ίδιες με αυτές που εισήχθησαν για την ολική καταπόνηση της γνάθου. Η διαφορά εντοπίζεται στο ότι οι δυνάμεις εφαρμόστηκαν στην μια πλευρά της γνάθου, λαμβάνοντας υπόψη στους υπολογισμούς τα μισά δόντια της οδοντοστοιχίας.

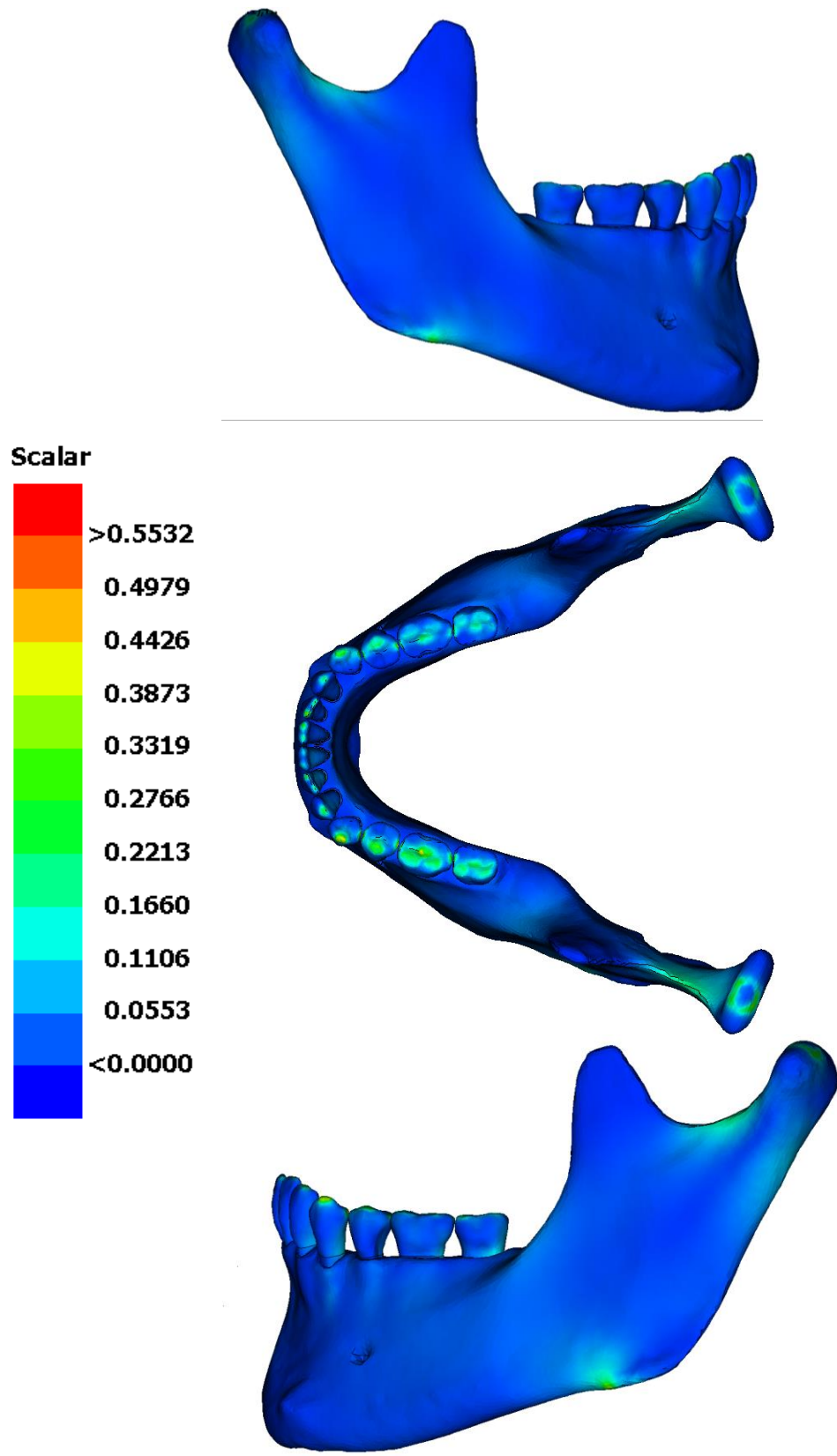
Στις Εικόνες 6-4 έως 6-6, εμφανίζονται οι φορτίσεις για την μονόπλευρη καταπόνηση του μοντέλου, ανά βήμα φόρτισης.



Εικόνα 6-4 : Μονόπλευρη Φόρτιση Μοντέλου Στην Πρώτη Φάση Φόρτισης (STEP 1)



Εικόνα 6-5: Μονόπλευρη Φόρτιση Μοντέλου Στην Δεύτερη Φάση Φόρτισης (STEP 2)



Εικόνα 6-6 : Μονόπλευρη Φόρτιση Μοντέλου Στην Τρίτη Φάση Φόρτισης (STEP 3)

7. Συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια του κύκλου μάσησης δημιουργούνται διάφορες δυνάμεις μεταξύ των δοντιών. Οι μέγιστες δυνάμεις προκύπτουν στην φάση μέγιστης συναρμογής, όπου εμφανίζονται και οι μέγιστες οδοντικές επαφές. Από τον προσδιορισμό των μέγιστων δυνάμεων, προκύπτει ότι οι μέγιστες δυνάμεις δήξης εμφανίζονται σε πλευρικές και κάθετες κατευθύνσεις. Το μέγεθος των κάθετων δυνάμεων δήξης είναι μεγαλύτερο από αυτό των πλευρικών δυνάμεων.

Οι πρώτοι γομφίοι, είναι τα δόντια στα οποία παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές για τις δυνάμεις δήξης. Για τις κάθετες δυνάμεις δήξης, η μέγιστη τιμή κυμαίνεται από 330 έως 684 N ενώ για τις πλευρικές η τιμή είναι 16,1 N. Στους πρώτους γομφίους, εμφανίζονται και μέγιστες επιφάνειες των επαφών με τιμή από 14 έως 16,4 mm².

Σκοπός της εργασίας ήταν η δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου, στο οποίο θα αποτυπωνόταν η κατανομή των μέγιστων τάσεων στα δόντια της κάτω γνάθου. Ωστόσο, η μελέτη ενός μοντέλου με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων διαθέτει κάποιους περιορισμούς οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα. Οποιαδήποτε μεταβολή στις οριακές συνθήκες του μοντέλου ή στις μηχανικές του ιδιότητες θα μεταβάλει το αποτέλεσμα. Υπάρχουν πολλές βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν για να οδηγηθούμε στην αναπαράσταση ενός ρεαλιστικού μοντέλου. Κάποιες από αυτές μπορεί να είναι η εισαγωγή του σπογγώδους οστού ή η τοποθέτηση των πλευρικών δυνάμεων.

Σε κάθε περίπτωση, καθώς το μοντέλο βελτιώνεται παράγονται και ακριβέστερα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τομείς της οδοντιατρικής. Ένα παράδειγμα αφορά την κατασκευή των εμφυτευμάτων όσον αφορά την αντοχή τους ανάλογα με τις καταπονήσεις που δέχονται ή την αξιολόγηση των κροταφογναθικών διαταραχών, αφού έχει δημιουργηθεί ένα πρώτο συμπέρασμα που αφορά την άσκηση των δυνάμεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Φυσιολογία Στοματογοναθικού συστήματος, ΤΕΙ ΑΘΗΝΑΣ, Σχολή – Τμήμα :Σχολή Επαγγελματιών Υγείας και Πρόνοιας, Τμήμα Οδοντικής Τεχνολογίας, διαθέσιμο στο: https://ocp.teiath.gr/modules/document/index.php?course=DENT_UNDER101&openDir=/55084011RqdU/5508401aexLZ
- [2] Γαλιατσάτος, Α., Οδοντική Μορφολογία, ΤΕΙ ΑΘΗΝΑΣ, Σχολή – Τμήμα :Σχολή Επαγγελματιών Υγείας και Πρόνοιας, Τμήμα Οδοντικής Τεχνολογίας, διαθέσιμο στο: https://ocp.teiath.gr/modules/document/index.php?course=DENT_UNDER102&openDir=/55950d19I63i/55950d2frqFH
- [3] Periodontology & implantology Dental Clinic, πόσα και ποια είναι τα δόντια μας, διαθέσιμο στο: <http://www.perio-implants.gr/πόσα-και-ποιά-είναι-τα-δόντια-μας/>
- [4] Γαλιατσάτος, Α. 2015. ΚΟΙΝΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΟΝΤΙΩΝ, Γαλιατσάτος, Α. 2015. Εγχειρίδιον εργαστηριακών ασκήσεων οδοντικής μορφολογίας. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφάλαιο 2. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/970>
- [5] John B. Brunki, 'Biomechanical Factor Affecting the Bone- Dental Implant Interface', Department of Biomedical Engineering, Jonsson Engineering Center, Rensselaer Polytechnic, Troy, NY 12180-3590,USA, March 1991
- [6] Dental Tribune, Εμφυτεύματα Ζιρκονίας vs.εμφυτεύματα τιτανίου, διαθέσιμο στο : <https://gr.dental-tribune.com/news/εμφυτεύματα-ζιρκονίας-vs-εμφυτεύματα-τι/>
- [7] Nobel Biocare, The development of dental implant materials, διαθέσιμο στο: <https://www.nobelbiocare.com/blog/news/dental-implant-materials/>
- [8] Teach me anatomy, the facial nerve διαθέσιμο στο: <https://teachmeanatomy.info/head/cranial-nerves/facial-nerve/>
- [9] Ken Hub, επίσημη ιστοσελίδα στο : <https://www.kenhub.com/en/dashboard>
- [10] Meenakshi, A, and Priyanjali Paul, 'Human Chewing Pattern : Prosthodontic Overview', 4 (2017), 80–85
- [11] Biswas, B K, S Bag, and S Pal, 'Biomechanical Analysis of Normal and Implanted Tooth Using Biting Force Measurement Abstract ': 4 (2013), 17–23
- [12] J.F. Bates, G. D. Staffordand A. Harrison, 'Nasticatory function- a review of the literature', Journalof oral rehabilitation, 1975, Volume2, pages281-301
- [13] Settlement, Yuendumu Native, and Dental Science, 'THE TIMING AND MECHANISM OF THE HUMAN MASTICATORY STROKE', 10 (1965), 981–93
- [14] Umesh, Sharath, Srivani Padma, Sundarrajan Asokan, and Talabattula Srinivas, 'Fiber Bragg Grating Based Bite Force Measurement', Journal of Biomechanics, 49 (2016), 2877–81 <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.06.036>

- [15] SlideShare, POSSELT'S ENVELOPE OF MOTION διαθέσιμο στο: https://www.slideshare.net/fasahat723/posselts-envelope?fbclid=IwAR1O8-w6hEdjWpSO11xkRhEZEXRsn0CPQEn8_wigvkPwOHwD8jNDczM1gIQ
- [16] Duygu Koc, Arife Dogan, Bulent Bek, 'Bite Force and Influential Factors on Bite Force Measurements: A Literature Review', *European Journal of Dentistry*, April 2010; 4:223-232
- [17] Biswas B. K., S. Bag, and S. Pal, 'Biomechanical Analysis of Normal and Implanted Tooth Using Biting Force Measurement Abstract', 2013; 4:17–23
- [18] Kumagai, H., T. Suzuki, T. Hamada, P. Sondang, M. Fujitani, and H. Nikawa, 'Occlusal Force Distribution on the Dental Arch during Various Levels of Clenching', *Journal of Oral Rehabilitation*, 1999; 26: 932–35
- [19] Sharath Umesh, Srivani Padma, Sundarrajan Asokan, Talabattula Srinivas, 'Fiber Bragg Grating based bite force measurement', *Journal of Biomechanics* 49 (2016) 2877-2881
- [20] J.H. Koolstra, T.M.G.J. Van Eijden, W.A. Weijs and M. Naeije, ' A THREE-DIMENSIONAL MATHEMATICAL MODEL OF THE HUMAN MASTICATORY SYSTEM PREDICTING MAXIMUM POSSIBLE BITE FORCES', *J.Biomechanics* Vol.21, No. 7, pp. 563-576, 1988
- [21] Hattori, Yoshinori, Chiaki Satoh, Takeyasu Kunieda, Rui Endoh, Hisayuki Hisamatsu, and Makoto Watanabe, 'Bite Forces and Their Resultants during Forceful Intercuspal Clenching in Humans', *Journal of Biomechanics*, 2009; 42: 1533–38
- [22] Yurkstas, Algirdas, and R. S. Manly, 'Measurement of Occlusal Contact Area Effective in Mastication', *American Journal of Orthodontics*, 1949
- [23] Howell A. H. and Finn Brudevold, 'Vertical Forces Used During Chewing of Food', *J. D. Res.* April 1950
- [24] Jae-Ho Yanh, D.S.S., M.S.D.,Ph.D., 'COMPUTERIZED T-SCAN SYSTEM', Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University, 1989
- [25] R. J. Chapman, DMD, 'Principles of occlusion for implant prostheses: guidelines for position, timing and force of occlusal contacts ',*Quintessence Int* 1989;20:473-40
- [26] Lucie Himmlova´ , MD, PhD,aTat'jana Dosta´lova´ , MD, PhD,bAlois Ka´covsky´,cand SvatavaKonvicˇkova, ' Influence of implant length and diameter on stress distribution: A finiteelement analysis', PhDdInstitute of Dental Research and Czech Technical University, Prague, Czech Republic, *J Prosthet Dent* 2004;91:20-5.
- [27] A. Curtis, DMD,aO. Plesh, DDS, MD,aA. G. Hannam, BDS, PhD,bA. Sharma, BDS, MSc,cand T. A. Curtis, 'Modeling of jaw biomechanics in the reconstructed mandibulectomy patients', DDSdUniversity of California at San Francisco, San Francisco, Calif., and University of British Columbia,Vancouver, British Columbia, Canada, (*J Prosthet Dent* 1999;81:167-73

[28] Fumihiko Watanabe ,Yoshiaki Hata, Shigeki Komatsu, Tristan C. Ramos, Hiroshi Fukuda, ' Finite element analysis is of the influence of implant inclination, loading position and load direction on stress distribution', Odontology, September 2003, Volume 91, Issue 1, pp. 31–36

[29] Χριστόφορος Γ. Προβατίδης,2016, Πεπερασμένα Στοιχεία στην Ανάλυση Κατασκευών, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη

[30] Νικόλαος Μπιλάλης, Εμμανουήλ Μαραβελάκης, 2014, Συστήματα CAD/CAM & Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση, Εκδόσεις ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΕ, Αθήνα

[31] BETA Simulation Solutions, διαθέσιμο στο: <https://www.beta-cae.com/>

[32] ABAQUS/CAE User's manual, διαθέσιμο στο: <https://classes.engineering.wustl.edu/2009/spring/mase5513/abaqus/docs/v6.6/books/usi/default.htm?startat=pt03ch17s06s01.html#usi-mgn-table-limits>

[33] Alireza Karimi, Reza Razaghi et. Al., 'Finite element modeling of periodontal ligament under a realistic kinetic loading of the jaw system', ELSEVIER, Saudi Dental Journal, October 2019

[34] Hee- Sum Kim, PhD, Jae- Yong Park et al., 'Finite element modeling technique for predicting mechanical behaviors on mandible bone during mastication', J. Adv. Prosthodont 2012;4:218-26

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

{1}

https://ocp.teiath.gr/modules/document/index.php?course=DENT_UNDER101&openDir=/55084011RqdU/5508401aexLZ

{2} <https://odontiatrikiygeia.wordpress.com/2015/09/22/ανατομια-δοντιου/>

{3} <http://www.perio-implants.gr/πόσα-και-ποιά-είναι-τα-δόντια-μας/>

{4} <https://preparmy.com/life-science/medical-science/human-digestive-system/>

{5} <https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/970/1/Kef.%202.pdf>

{6} <https://www.crete-implants.com/index.php/en/ipiresies/cretedentalimplants>

{7} <https://teachmeanatomy.info/head/cranial-nerves/facial-nerve/>

{8} <https://www.kenhub.com/en/start/muscles-of-mastication/atlas>

{9} <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/the-maxilla>

{10} <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/the-mandible>

{11} https://en.wikipedia.org/wiki/Temporal_bone

{12}

<https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/DENT505/Κροταφογναθική%20Διάρθρωση.pdf>

{13} Settlement, Yuendumu Native, and Dental Science, 'THE TIMING AND MECHANISM OF THE HUMAN MASTICATORY STROKE', 10 (1965), 981–93

{14} <https://www.juniordentist.com/what-are-masticatory-forces.html>

{15} https://www.slideshare.net/fasahat723/posselts-envelope?fbclid=IwAR1O8-w6hEdjWpSO11xkRhEZEXRsn0CPQEn8_wjgvkPwOHwD8jNDczM1glQ

{16} Hattori, Yoshinori, Chiaki Satoh, Takeyasu Kunieda, Rui Endoh, Hisayuki Hisamatsu, and Makoto Watanabe, 'Bite Forces and Their Resultants during Forceful Intercuspal Clenching in Humans', Journal of Biomechanics, 2009; 42: 1533–38

{17} Jae-Ho Yanh, D.S.S., M.S.D., Ph.D., 'COMPUTERIZED T-SCAN SYSTEM', Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University, 1989

{18} Γαλιατσάτος, Α., Οδοντική Μορφολογία, ΤΕΙ ΑΘΗΝΑΣ, Σχολή – Τμήμα :Σχολή Επαγγελματιών Υγείας και Πρόνοιας, Τμήμα Οδοντικής Τεχνολογίας, διαθέσιμο στο: https://ocp.teiath.gr/modules/document/index.php?course=DENT_UNDER102&openDir=/55950d19l63i/55950d2frqFH