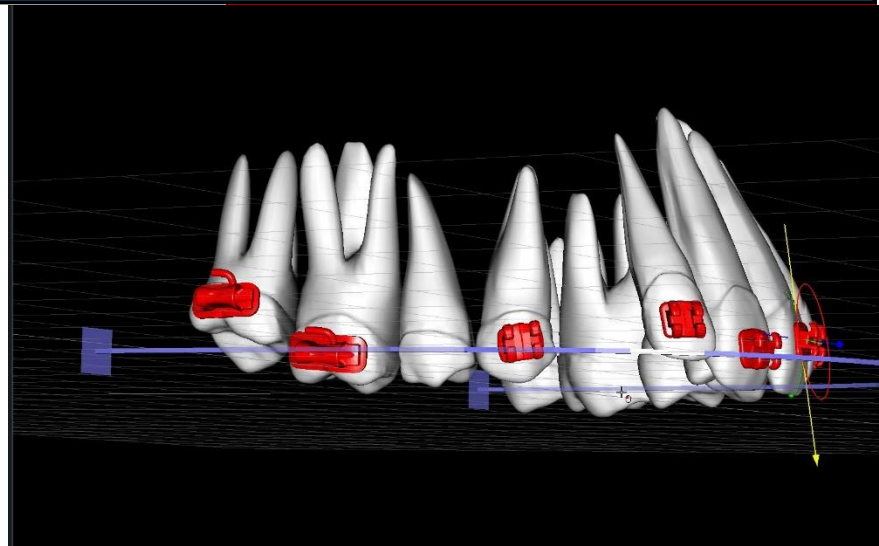


Η ΦΥΣΙΚΗ ΣΤΗΝ ΟΡΘΟΔΟΝΤΙΚΗ



Dr. Jean-Marc Retrouvey UMKC

Dr. Katherine Koussaie McGill

Translation Dr. Ionna Gidarakou.



IFDE
INTERNATIONAL
FOUNDATION FOR DENTAL EDUCATION

Βασικές αρχές μηχανικής στην Ορθοδοντική

Dr. Jean-Marc Retrouvey

Dr. Katherine Kousaie

1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

2	Εισαγωγή.....	Error! Bookmark not defined.
3	Βασικές αρχές μηχανικής.....	Error! Bookmark not defined.
3.1	Οι 3 νόμοι του Νεύτωνα	Error! Bookmark not defined.
3.1.1	Πρώτος Νόμος	Error! Bookmark not defined.
3.2	Δεύτερος Νόμος.....	Error! Bookmark not defined.
3.3	Τρίτος Νόμος.....	Error! Bookmark not defined.
4	Η έννοια της δύναμης.....	Error! Bookmark not defined.
4.1	Απλή δύναμη:	5
4.1.1	Ορισμός:.....	5
4.1.2	Σημείο εφαρμογής.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.3	Κατεύθυνση δράσης	6
4.1.4	Νόμος μεταβίβασης της δύναμης:	7
4.1.5	Σημείο εφαρμογής της δύναμης:	7
4.1.6	Κέντρο μάζας.....	Error! Bookmark not defined.
5	Κέντρο Αντίστασης (CR):.....	9
5.1	Μεταβολή του κέντρου αντίστασης σε συνάρτηση με την περιοδοντική στήριξη	11
5.1.1	Κέντρο αντίστασης μεμονωμένου δοντιού:	11
5.1.2	Κέντρο αντίστασης ομάδας δοντιών	13
5.1.3	Συνδυασμός δυνάμεων. Συνισταμένη δύναμης ή δυνάμεων.....	Error! Bookmark not defined.
6	Κέντρο Περιστροφής:.....	16
6.1.1	Διαγράμματα ελεύθερου σώματος	Error! Bookmark not defined.
7	Τύποι οδοντικών μετακινήσεων	Error! Bookmark not defined.
7.1	Παράλληλη μετακίνηση.....	Error! Bookmark not defined.

7.2	Περιστροφή (απόλυτη).....	21
7.3	Μη παράλληλη μετακίνηση (Tipping)	22
7.3.1	Μη ελεγχόμενη κλίση: Όταν μία δύναμη ασκείται στη μύλη, η μύλη μετατοπίζεται προς μία κατεύθυνση, ενώ η ρίζα προς την αντίθετη. Σε αυτήν την περίπτωση, το κέντρο περιστροφής εδράζεται εγγύς ή ακρορριζικά του κέντρου αντίστασης, οπότε το δόντι μετακινείται με κλίση γύρω από το C _{res} (Fig 30).....	22
7.3.2	Ελεγχόμενη κλίση:	22
	Το κέντρο περιστροφής εδράζεται στο ακρορριζίο του δοντιού. Το δόντι περιστρέφεται γύρω από το C _{rot} με την εφαρμογή δύναμης και ροπής (Fig 31).....	22
7.3.3	Μετακίνηση ρίζας	Error! Bookmark not defined.
7.3.4	Εμβύθιση/Εκγόμεφωση.....	Error! Bookmark not defined.
8	Συστήματα δυνάμεων.....	Error! Bookmark not defined.
8.1	Ροπή	Error! Bookmark not defined.
	M = F x d	25
8.2	Ζεύγος δυνάμεων	Error! Bookmark not defined.
8.3	Λόγος ροπής προς δύναμη	Error! Bookmark not defined.
8.4	Μετακινήσεις σε διάφορα συστήματα δυνάμεων.....	30
8.5	Ισοδύναμα συστήματα δυνάμεων.....	35
9	Στήριξη	Error! Bookmark not defined.
9.1	Εφαρμογές	Error! Bookmark not defined.
9.1.1	Άπω μετακίνηση κυνόδοντα.....	Error! Bookmark not defined.
9.1.2	Εκγόμεφωση για επιμήκυνση μύλης και τοποθέτηση εμφυτεύματος	40
10	Προτεινόμενα αναγνώσματα.....	Error! Bookmark not defined.

2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ορθοδοντική βασίζεται σε βασικές αρχές της φυσικής, που σχετίζονται με τη μετακίνηση αντικειμένων στο χώρο. Οι κινήσεις αυτές καθίστανται πιο πολύπλοκες στο πεδίο της ορθοδοντικής, καθώς τα αντικείμενα εφαρμογής των δυνάμεων εδράζονται στο στόμα και υπόκεινται σε σύνθετα συστήματα δυνάμεων, δύσκολα σε πρόβλεψη με τη χρήση απλών μηχανικών αρχών. Η εμβιομηχανική αποτελεί ένα σημαντικό κεφάλαιο της ορθοδοντικής και αφορά στη μελέτη της στατικής ισορροπίας και της επίδρασης των δυνάμεων στα βιολογικά συστήματα. Το ακόλουθο κείμενο επιχειρεί να απολοποιήσει τις αρχές εμβιομηχανικής και να προσφέρει ένα κλινικό πλαίσιο εφαρμογής.

Ορισμένες βασικές αρχές φυσικής χρήζουν αναφοράς πριν την ενασχόλησή μας με τις εμβιομηχανικές αρχές στην ορθοδοντική και τις κλινικές εφαρμογές τους.

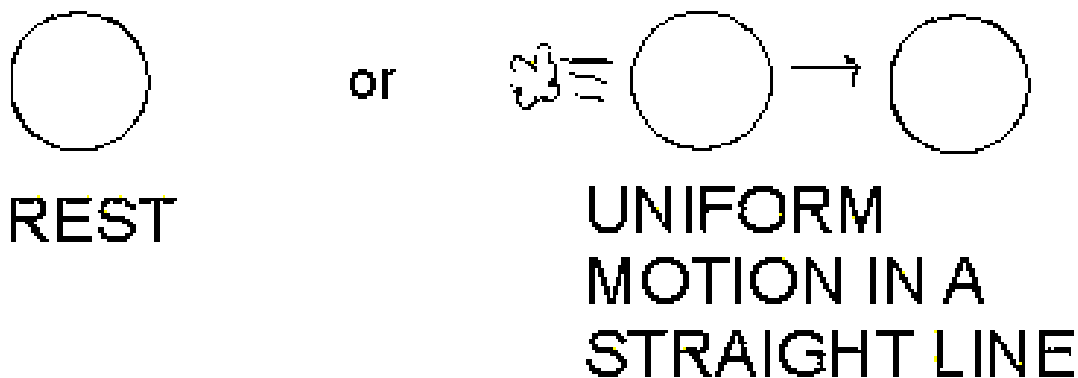
Οι 3 νόμοι του Νεύτωνα εφαρμόζονται και στην επιστήμη μας, για να περιγράψουν τις επιδράσεις των δυνάμεων σε ένα σώμα.

2.1 ΟΙ 3 ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

Οι νόμοι αυτοί περιγράφουν την κίνηση ενός σώματος, όταν σε αυτό εφαρμόζεται μία ή περισσότερες δυνάμεις. Ο 2^{ος} και ο 3^{ος} Νόμος είναι οι πιο σημαντικοί στο πεδίο μας.

2.1.1 ΠΡΩΤΟΣ ΝΟΜΟΣ

Σε απουσία τριβής, ένα σώμα παραμένει σε ηρεμία ή εξακολουθεί την ευθύγραμμη ομαλή κίνησή του, εκτός κι αν εφαρμοστούν δυνάμεις πάνω του. (Σχήμα 1).



Εικόνα 1: 1^{ος} Νόμος του Νεύτωνα

2.2 ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΝΟΜΟΣ

Η επιτάχυνση ενός σώματος πραγματοποιείται στην ίδια κατεύθυνση με τη δύναμη που την προκαλεί και εξαρτάται από το μέγεθος της δύναμης και τη μάζα του σώματος.

$$F_{\text{net}} = m \cdot a$$

(Δύναμη = μάζα x επιτάχυνση)

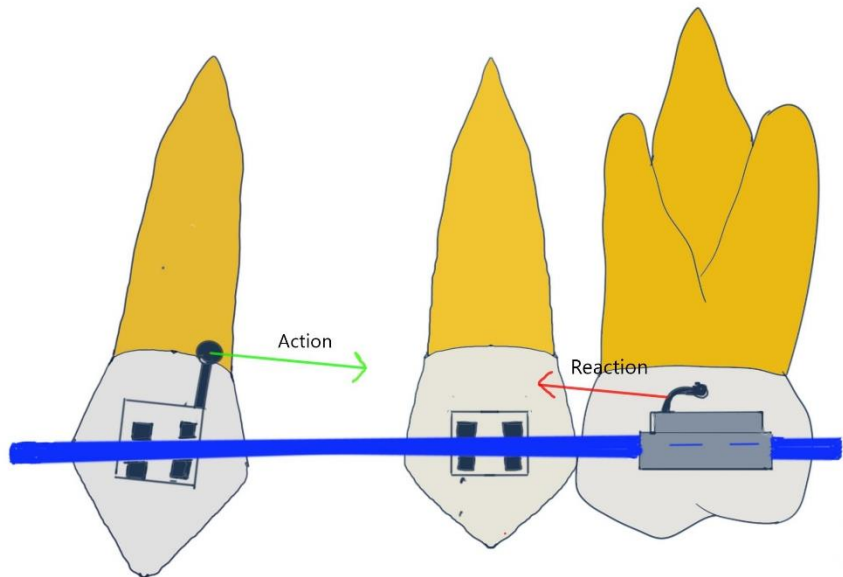
2.3 ΤΡΙΤΟΣ ΝΟΜΟΣ

Ο 3^{ος} Νόμος του Νεύτωνα ορίζει ότι για κάθε δράση υπάρχει μία ίση και αντίθετη αντίδραση. Σύμφωνα με τον προαναφερθέντα νόμο, όταν 2 σώματα αλληλεπιδρούν, ασκούν μεταξύ τους δυνάμεις. Με κάθε αλληλεπίδραση, υπάρχει ένα ζεύγος δυνάμεων. Οι δυνάμεις στο ζεύγος

αυτό (δράση και αντίδραση) είναι διανυσματικές, διαθέτουν δηλαδή μέτρο και κατεύθυνση. Το μέγεθος της δύναμης στο πρώτο σώμα ισούται με το μέγεθος της δύναμης στο δεύτερο σώμα, οι δε διευθύνσεις τους είναι αντίθετες.

Ας πάρουμε ως παράδειγμα την αλληλεπίδραση των ελαστικών ενός αυτοκινήτου και του οδοστρώματος. Καθώς τα ελαστικά των τροχών περιστρέφονται, ασκούν μία δύναμη στο οδόστρωμα. Ταυτόχρονα, το οδόστρωμα ασκεί μία ίση σε μέγεθος και αντίθετη σε κατεύθυνση δύναμη στα ελαστικά. Κατά μία έννοια, τα ελαστικά σπρώχνουν το οδόστρωμα πίσω και το οδόστρωμα ωθεί τα ελαστικά εμπρός (ίσες και αντίθετες δυνάμεις), επιτρέποντας την κίνηση του οχήματος.

Στη στοματική κοιλότητα, μπορούμε να καταγράψουμε διάφορα παραδείγματα εν δράση – συστήματα δυνάμεων αντίδρασης κατά την άπω κυνοδοντική μετακίνηση. Το ελατήριο έλκει τον κυνόδοντα άπω με μία συγκεκριμένου μεγέθους δύναμη. Καθώς η συσκευή χρησιμοποιεί ως στήριξη τους γομφίους, δημιουργείται μία ίση και αντίθετη δύναμη που τείνει να μετακινήσει τους γομφίους εγγύς (Εικ 2). Αυτό αποτελεί μία ανεπιθύμητη ενέργεια, επομένως κατά την κατάστρωση του σχεδίου θεραπείας τέτοιες ανεπιθύμητες δράσεις θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν για να εκμηδενιστούν ή έστω να ελαχιστοποιηθούν.



Σχήμα 2: Ισοδύναμη δράση και αντίδραση σε σύστημα σε ισορροπία. Απλοποιημένη σχηματοποίηση.

3 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

3.1 ΑΠΛΗ ΔΥΝΑΜΗ:

3.1.1 Ορισμός:

Μία δύναμη είναι μία δράση που προκαλεί αλλαγή στην κινητική κατάσταση ενός σώματος. Μονάδες μέτρησης των δυνάμεων είναι τα γραμμάρια, οι ουγκιές, τα Newton (περίπου 100 γραμμάρια ανά Newton στη Γη καθώς η επιτάχυνση βαρύτητας θεωρείται σταθερή και ίση με $9.807/s^2$). Στην ορθοδοντική, οι δυνάμεις μετρούνται σε γραμμάρια (Σχήμα 2).

Μέτρο και διεύθυνση δύναμης

Καθώς η δύναμη είναι διανυσματικό μέγεθος, η διεύθυνση της δύναμης συμβολίζεται με ένα βέλος που δείχνει προς την ίδια διεύθυνση με αυτήν της κίνησης του σώματος στο οποίο ασκείται.

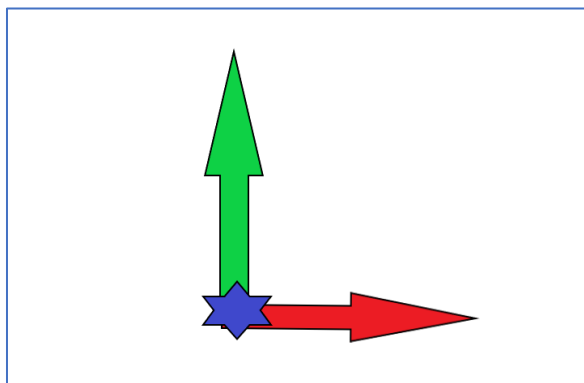
Το μέτρο της δύναμης εκφράζεται κατά σύμβαση από το μήκος του βέλους (Σχήμα 3).



Σχήμα 3: Βέλος που απεικονίζει απλή δύναμη με διεύθυνση και μέγεθος

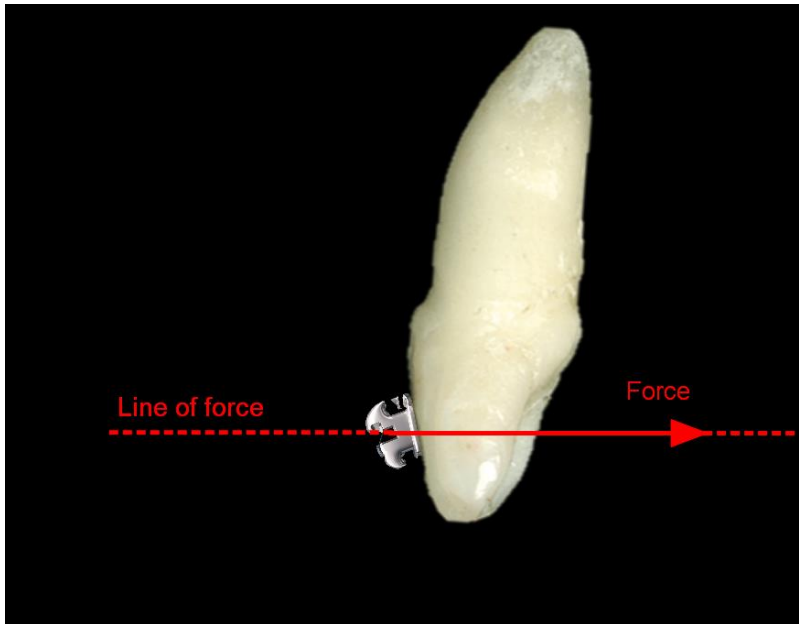
3.1.2 Σημείο εφαρμογής

Η θέση όπου η δύναμη εφαρμόζεται επί του σώματος ορίζεται ως σημείο εφαρμογής και κατά σύμβαση ταυτίζεται με το σημείο εκκίνησης του βέλους. Η εντόπιση του σημείου εφαρμογής σχετίζεται με το κέντρο μάζας καθώς η ακριβής του οριοθέτηση θα καθορίσει την τάση του σώματος να μετατοπιστεί ή να περιστραφεί άμα την άσκηση της εν λόγω δύναμης.



Σχήμα 4: Σημείο εφαρμογής δυνάμεων

Στο σχήμα 4, οι με χρώμα πράσινο και κόκκινο δυνάμεις έχουν διαφορετικές διευθύνσεις, αλλά το ίδιο σημείο άσκησης.

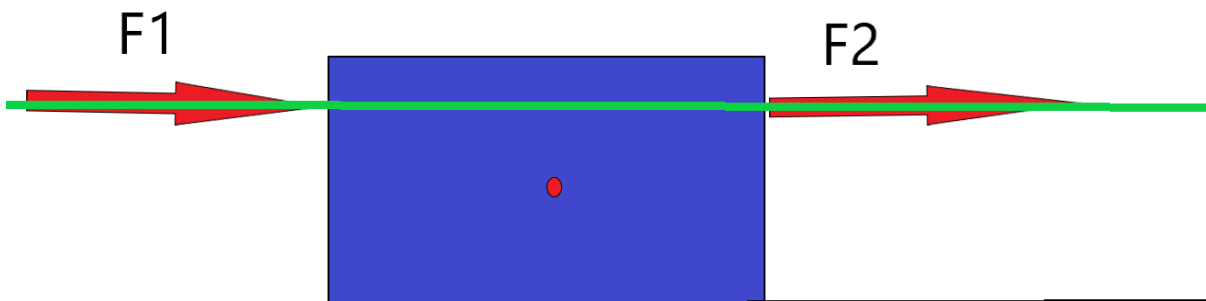


Σχήμα 5: Μία απλή δύναμη εφαρμοσμένη στο αγκύλιο ενός κεντρικού τομέα. Η γραμμή εφαρμογής καταδεικνύει τη διανυσματική φορά της δύναμης.

3.1.3 Γραμμή εφαρμογής με κατεύθυνση και μέγεθος.

Η γραμμή εφαρμογής είναι η γεωμετρική αναπαράσταση του τρόπου που εφαρμόζεται η δύναμη (Wikipedia). Η γραμμή εφαρμογής είναι ο άξονας μετατόπισης κατά την εφαρμογή της δύναμης. Το μέγεθος εκφράζεται κατά σύμβαση από το μήκος του βέλους.

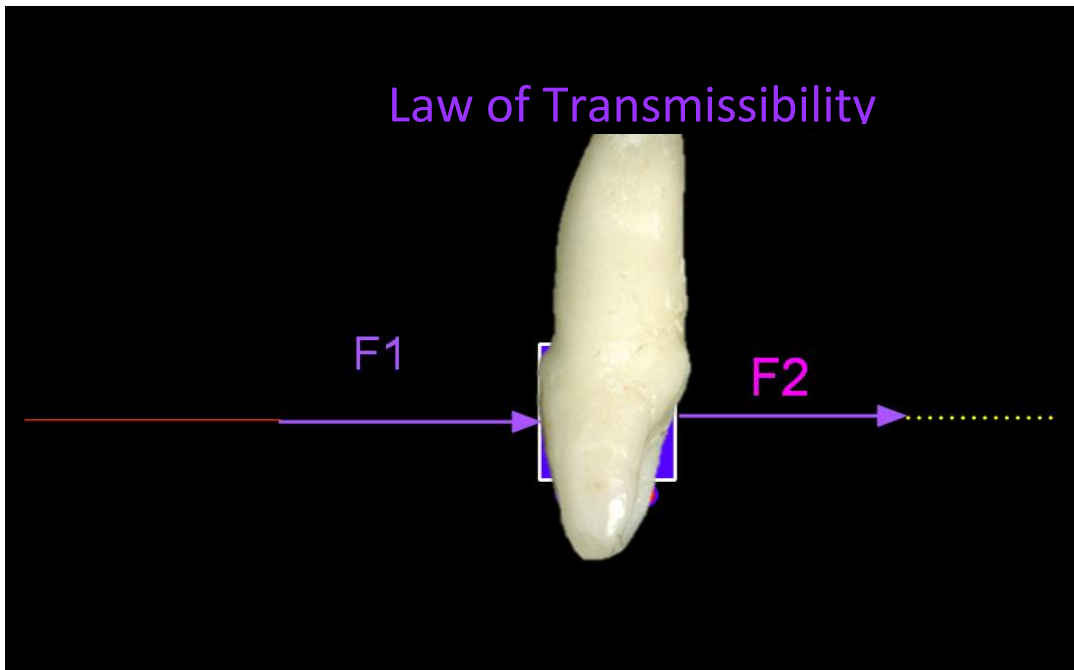
Δύο δυνάμεις ίσου μεγέθους που δρουν στην ίδια διεύθυνση και ασκούνται στην ίδια γραμμή εφαρμογής θα έχουν το ίδιο αποτέλεσμα σε ένα άκαμπτο σώμα. Στο σχήμα 6, η F1 και F2 θα έχουν τον ίδιο αντίκτυπο στο μπλε σώμα. Το καθαρό τελικό αποτέλεσμα θα είναι πανομοιότυπο.



Σχήμα 6: Γραμμή εφαρμογής δυνάμεων

3.1.4 Νόμος μετάδοσης των δυνάμεων:

Το αποτέλεσμα της άσκησης δύναμης σε ένα σώμα είναι το ίδιο, όταν η άσκηση αυτή πραγματοποιείται οπουδήποτε κατά μήκος της γραμμής εφαρμογής(Σχήμα 7). Για παράδειγμα, αν η γραμμή εφαρμογής της δύναμης είναι κατά μήκος του επιμήκους άξονα του δοντιού, δεν έχει σημασία αν η δύναμη ασκείται στο κοπτικό άκρο, στο αγκύλιο ή στο φύμα, αρκεί η δύναμη να έχει την ίδια κατεύθυνση και το ίδιο μέγεθος. Το τελικό αποτέλεσμα παραμένει το ίδιο.



Σχήμα 7: Νόμος μεταβίβασης δύναμης: η F_1 και η F_2 θα έχουν το ίδιο αποτέλεσμα

3.1.5 Σημείο εφαρμογής δύναμης:

Ο νόμος μεταβίβασης αναφέρει, ότι δυνάμεις ίδιου μεγέθους και κατεύθυνσης έχουν το ίδιο τελικό αποτέλεσμα ανεξαρτήτως εντόπισης του σημείου εφαρμογής τους κατά μήκος της ίδιας γραμμής εφαρμογής.

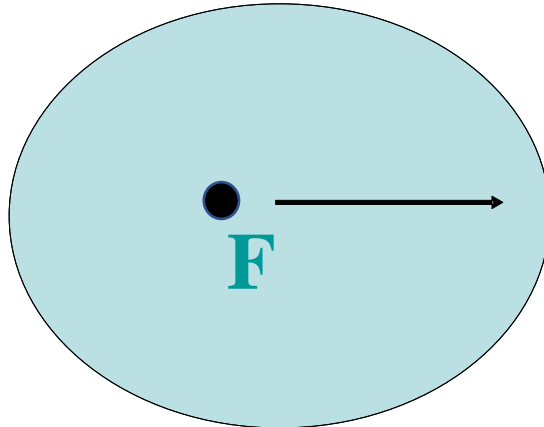
Μονόμετρα μεγέθη χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν δυνάμεις. Τα μεγέθη αυτά έχουν μέγεθος, αλλά όχι κατεύθυνση. Τα διανύσματα έχουν και μέγεθος και κατεύθυνση (τα διανύσματα χρησιμοποιούνται στα διαγράμματα απεικόνισης δυνάμεων, free body diagrams).

Άκαμπτα Σώματα: Αυτά δεν αλλάζουν σχήμα μετά από εφαρμογή δύναμης (όπως σε τάση και συμπίεση). Τα δόντια αποτελούν παράδειγμα άκαμπτου σώματος. Το ίδιο δεν ισχύει για τους μαλακούς ιστούς!

3.1.6 Κέντρο μάζας

Το κέντρο μάζας αντιπροσωπεύει το σημείο ισορροπίας ενός συστήματος. Σε απλά σώματα όπως ένα δόντι, το κέντρο μάζας είναι το σημείο που συμπεριφέρεται σαν όλη η μάζα να είναι συγκεντρωμένη σε αυτό ακριβώς το σημείο.

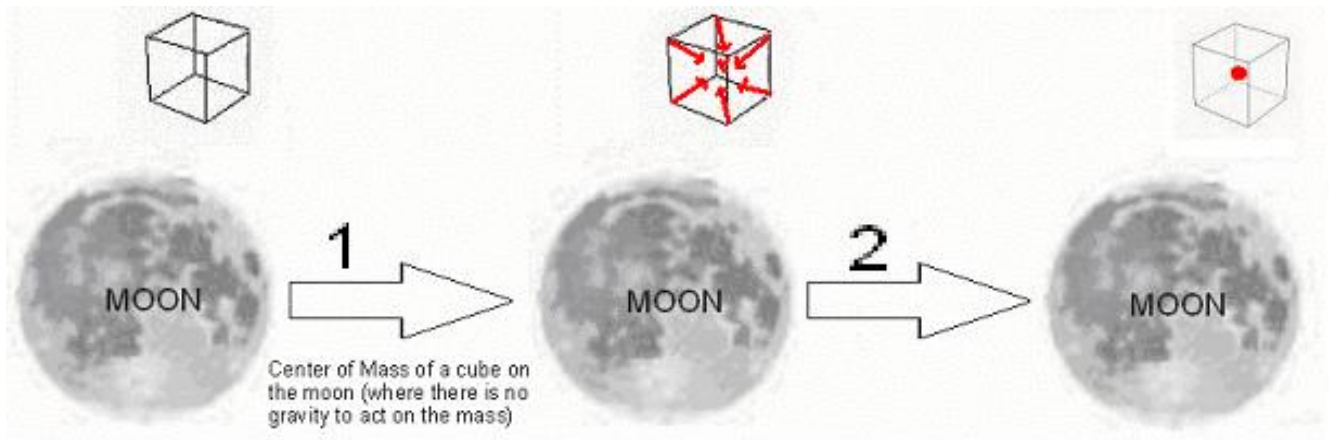
1. Centre of Mass: balance point of a system



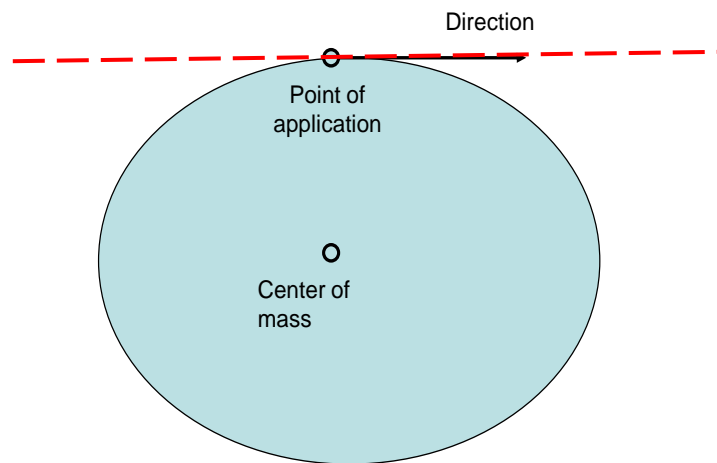
Σχήμα 8 : Κέντρο μάζας

Εάν μία δύναμη περάσει από το Κέντρο Μάζας, το σώμα θα κινηθεί στην κατεύθυνση της δύναμης χωρίς καμία περιστροφή (ευθύγραμμη μετακίνηση/pure translation).

Αυτό θα συνέβαινε σε οποιοδήποτε αντικείμενο στο φεγγάρι (ή σε περιβάλλον όπου δεν ασκείται καμία δύναμη στο δόντι) (Σχήμα 9). Το παράδειγμα αποτελεί φυσικά μία θεωρητική σύλληψη και όχι μία ρεαλιστική κατάσταση.



Σχήμα 9: Κέντρο μάζας στο φεγγάρι



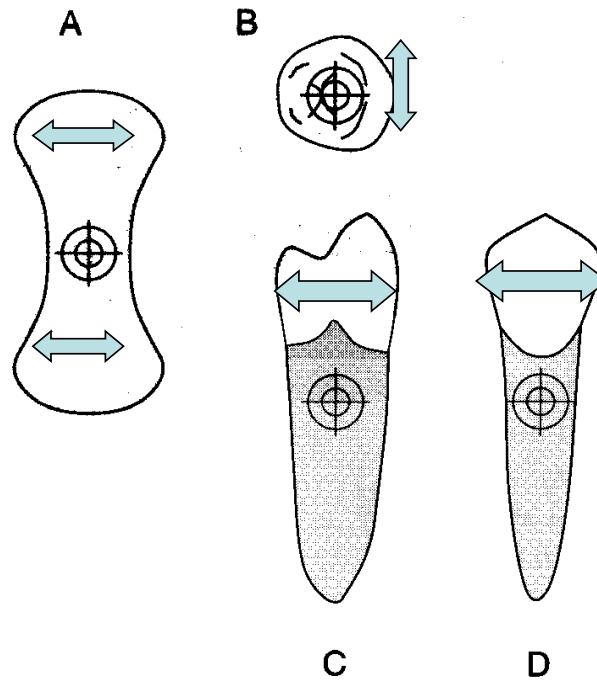
Σχήμα 10: Γραμμή δράσης δύναμης που ασκείται σε απόσταση από το κέντρο μάζας

Εάν η γραμμή δράσης ενός ελεύθερου σώματος εδράζεται μακριά από το κέντρο μάζας, ένας συνδυασμός περιστροφής και μετατόπισης θα καταγραφεί (σχήμα 10) .

4 ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (CR):

Το κέντρο αντίστασης είναι μία σημαντική έννοια στην ορθοδοντική, καθώς τα δόντια δεν αποτελούν ελεύθερα σώματα έχοντα τις ρίζες τους συνδεδεμένες στη φατνιακή απόφυση μέσω της περιοδοντικής μεμβράνης. Το κέντρο μάζας και το κέντρο αντίστασης δεν εδράζονται στο ίδιο σημείο. Το κέντρο αντίστασης βρίσκεται πιο ακρορριζικά σε σχέση με το κέντρο μάζας. Είναι ένα μαθηματικά ορισμένο σημείο στο οποίο θεωρείται ότι συγκεντρώνεται όλη η αντίσταση στη μετατόπιση. Στα συστήματα δυνάμεων οι υπολογισμοί σε σχέση με την

πιθανότητα ευθύγραμμης κίνησης ή περιστροφής πραγματοποιούνται με σημείο αναφοράς το κέντρο αντίστασης.



Σχήμα 11: Εντόπιση του κέντρου αντίστασης από διάφορες οπτικές γωνίες:
A. Ριζικά, B: Μασητικά. C: Χειλο-γλωσσικά, D.: Εγγύς-Άπω

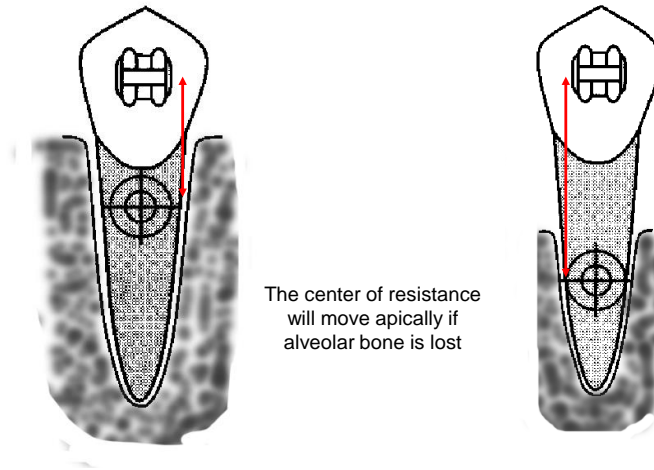
Το κέντρο αντίστασης ποικίλει σε κάθε δόντι και εξαρτάται από την παρούσα περιοδοντική στήριξη. Εντοπίζεται περίπου στο μέσον της ρίζας. (Σχήμα 11)

Το κέντρο αντίστασης λαμβάνει υπόψιν το σύνολο των ασκούμενων στο σώμα δυνάμεων. Στην περίπτωση του δοντιού, περιλαμβάνει τις δυνάμεις από την περιοδοντική μεμβράνη, τα αγγεία, το οστό και τους συνδετικούς ιστούς (Σχήμα 12). Το κέντρο αντίστασης μπορεί να περιγραφεί για ένα δόντι ή για μία ομάδα δοντιών, εφόσον αυτά έχουν συνδεθεί μεταξύ τους (κι επομένως συμπεριφέρονται ως μία ενιαία, μεγαλύτερη μάζα).

Σημασία του κέντρου αντίστασης: Όταν ασκούνται δυνάμεις στα δόντια, είναι απαραίτητα να αποτιμηθούν οι τρισδιάστατες επιδράσεις τους και οι προκαλούμενες κινήσεις στα δόντια από τα δεδομένα συστήματα δυνάμεων.

4.1 ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟΝΤΙΚΗ ΣΤΗΡΙΞΗ

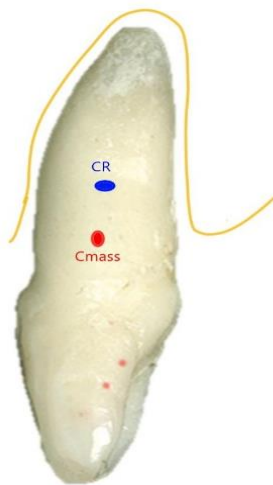
Alveolar bone support



Σχήμα 12: Ακρορριζική μετατόπιση του κέντρου αντίστασης επί οριζόντιας απώλειας οστού.

Σε περιοδοντικούς ασθενείς, η κορυφή της φατνιακής απόφυσης μετατοπίζεται ακρορριζικά. Η μετατόπιση του κέντρου αντίστασης στο Σχήμα 12 μετατοπίστηκε δραματικά προς το ακρορρίζιο και η απόσταση από το αγκύλιο στο κέντρο αυτό σχεδόν διπλασιάζεται. Εάν η ίδια δύναμη ασκηθεί στο αγκύλιο αυτών των 2 δοντιών, η ορθοδοντική μετακίνηση θα είναι διαφορετική. Το δόντι δεξιά θα έχει την τάση να περιστραφεί περισσότερο λόγω της αυξημένης απόστασης ανάμεσα στο σημείο εφαρμογής της δύναμης και του κέντρου αντίστασης του δοντιού.

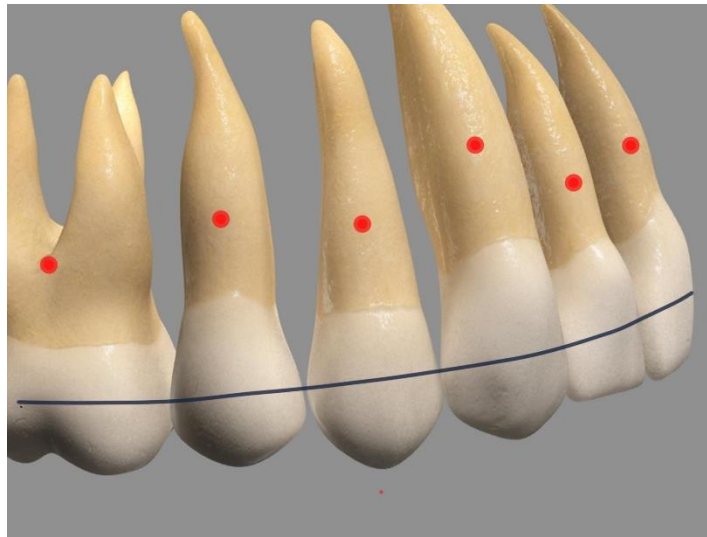
4.1.1 Κέντρο περιστροφής μονήρους δοντιού:



Το κέντρο μάζας εδράζεται πάντα πιο μυλικά σε σχέση με το κέντρο αντίστασης λόγω της “αντίστασης” της περιοδοντικής μεμβράνης και του περιβάλλοντος οστού. Καθώς είναι αδύνατος ο ακριβής προσδιορισμός αυτής της αντίστασης για κάθε δόντι και κάθε ασθενή, το κέντρο αντίστασης αποτελεί μία θεωρητική έννοια, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα μέσο για να καταγραφούν ιδανικά συστήματα δυνάμεων.

Σχήμα 13: Κέντρο αντίστασης (CR) vs Κέντρο μάζας (Cmass) μονόρριζου δοντιού

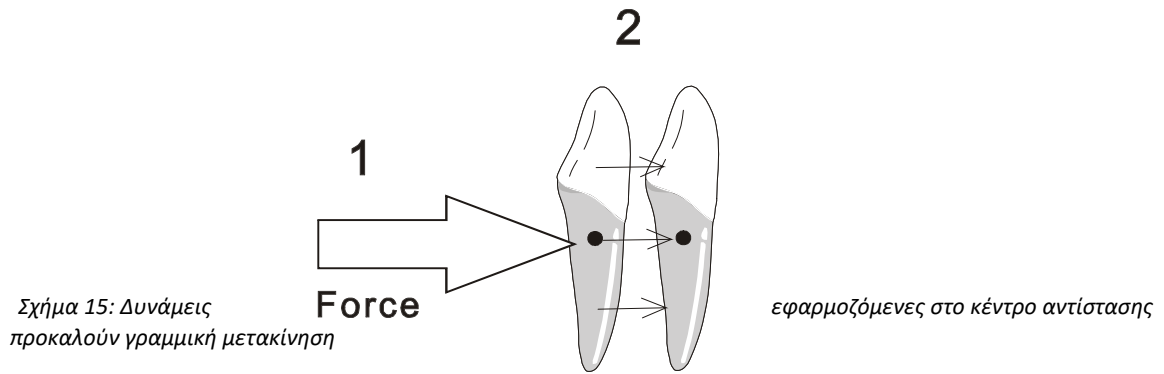
Σε περιπτώσεις φυσιολογικής περιοδοντικής στήριξης, το κέντρο αντίστασης διαφορετικών δοντιών μπορεί να εντοπίζεται σε διαφορετικά επίπεδα. Οι άνω κυνόδοντες θα καταγράφουν κέντρο αντίστασης σε υψηλότερο σημείο, ενώ οι προγόμφιοι και οι πλάγιοι τομείς σε χαμηλότερο.



Σχήμα 14: Διαφορετικές εντοπίσεις του κέντρου αντίστασης (θεωρώντας την περιοδοντική στήριξη ομοιόμορφη και εντός φυσιολογικών ορίων)

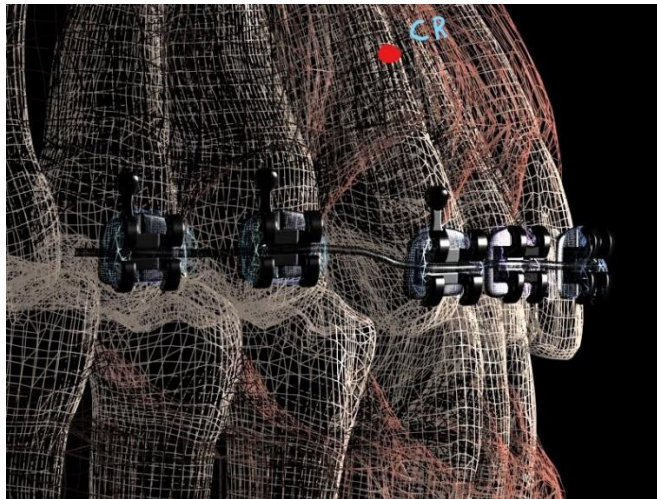
Επομένως γίνεται αντιληπτό ότι το κέντρο αντίστασης είναι διαφορετικό μεταξύ διαφορετικών δοντιών με άλλοτε άλλο μήκος και ανατομία ρίζας, για παράδειγμα μεταξύ τομέων και γομφίων, προγομφίων και κυνόδοντων. Η εντόπιση επηρεάζεται επίσης από το ύψος της φατνιακής απόφυσης, οπότε θα διαφέρει μεταξύ παιδιών και ενηλίκων με περιοδοντική νόσο (όπου το κέντρο μετατοπίζεται ακρορριζικά) (Σχήμα 14).

Άλλος ένας τρόπος θεώρησης του εν λόγω κέντρου είναι ότι συμπίπτει με το σημείο του σώματος, όπου η άσκηση μεμονωμένης δύναμης θα προκαλέσει μία γραμμική, παράλληλη μετακίνηση (pure [translation](#)) (Σχήμα 15).

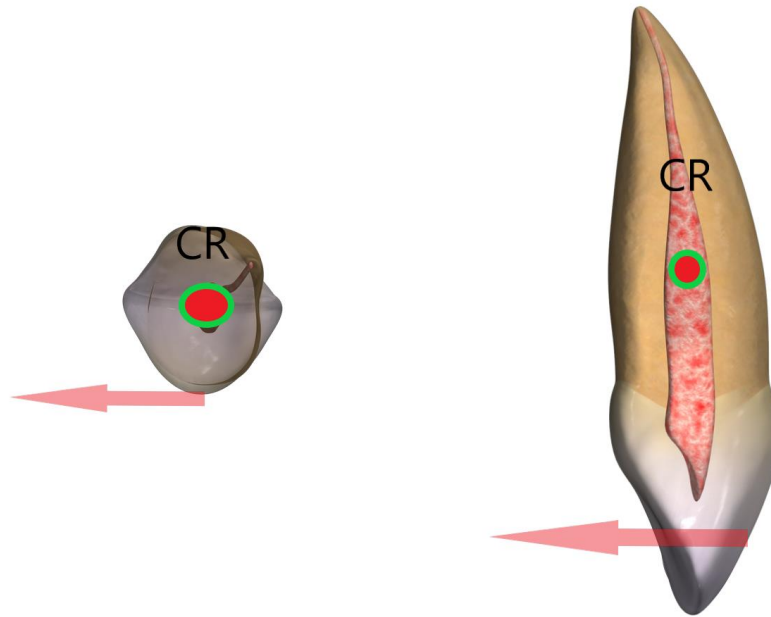


4.1.2 Κέντρο αντίστασης ομάδας δοντιών.

Όταν τα δόντια είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με αγκύλια και σύρματα, ένα νέο κέντρο αντίστασης δημιουργείται και η ομάδα αυτή των δοντιών λογίζεται ως ενιαίο σώμα.



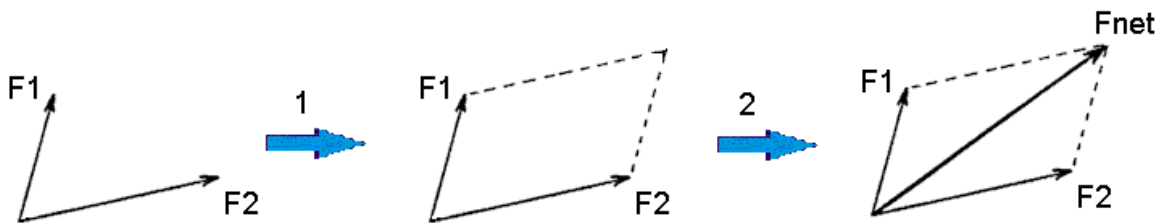
Σχήμα 16: Κέντρο αντίστασης ομάδας δοντιών



Σχήμα 17: Όταν μία δύναμη ασκείται σε ένα δόντι, η γραμμή ενέργειας της δύναμης απέχει πάντα από το κέντρο αντίστασης.

4.1.3 Συνδυασμός δυνάμεων. Συνισταμένη δυνάμεων

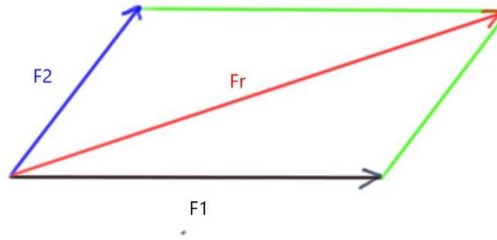
Στην ορθοδοντική, ο συνδυασμός δυνάμεων ασκούμενων στα 3 επίπεδα του χώρου είναι συνήθης και είναι χρήσιμο να υπολογίζεται η κοινή συνισταμένη τους. Ο κανόνας του παραλληλογράμμου εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της.



Σχήμα 18. Κανόνας του παραλληλόγραμμου

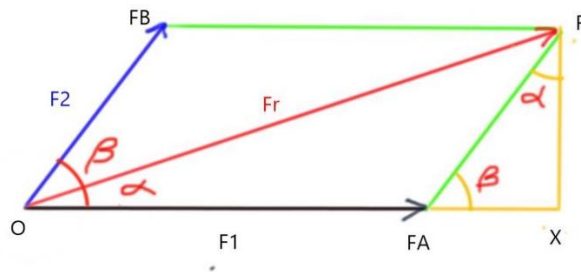
Πρέπει να υπογραμμιστεί, ότι η δύναμη (F_{net}) είναι η συνολική δύναμη, που αποτελεί το διανυσματικό άθροισμα όλων των δυνάμεων (F_1 και F_2). Ο κανόνας του παραλληλογράμμου μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τη συνισταμένη: οι δυνάμεις F_1 και F_2 είναι διανυσματικά μεγέθη με μέτρο και κατεύθυνση. Όταν οι δυνάμεις F_1 F_2 είναι υπό γωνία, δημιουργείται ένα παραλληλόγραμμο με πλευρές τις F_1 και F_2 . Η συνισταμένη F_{net} ισούται με τη διαγώνιο (Σχήμα 18).

Υπολογισμοί του αθροίσματος των συνιστασών (Αναζητήστε περισσότερες λεπτομέρειες στον ακόλουθο σύνδεσμο: <https://www.mathstopia.net/vectors/parallelogram-law-vector-addition>)



Σχήμα 19: Υπολογισμός συνισταμένης

Για να υπολογιστεί το μέτρο της συνισταμένης, χρησιμοποιούμε την εξίσωση: $F_r = F_1 + F_2$. Απαιτείται επίσης να επεκτείνουμε τη γραμμή ενέργειας της δύναμης F_1 για να σχηματιστεί το ορθογώνιο τρίγωνο OXR και να προσθέσουμε τις γωνίες α και β .



Σχήμα 20: Επέκταση του παραλληλόγραμμου.

Υπολογισμός του μέτρου της F_r :

$$F_r^2 = OX^2 + RX^2$$

$$OX = OF_A + F_A X \text{ ή}$$

$$F_r^2 = (OF_A + F_A X)^2 + R_X^2$$

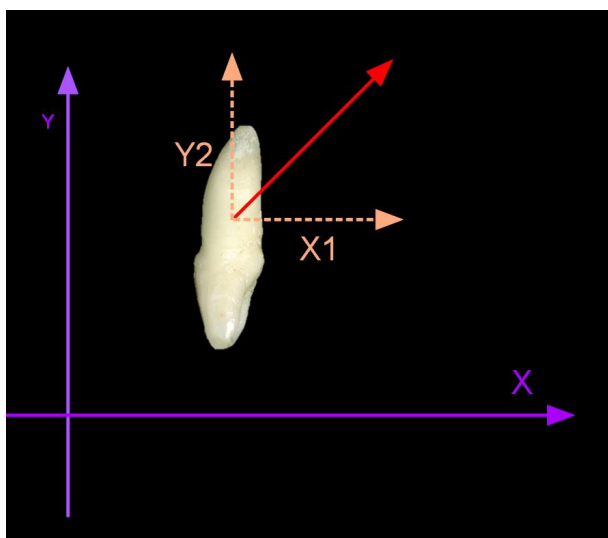
Μόλις αναπτύξουμε πλήρως την εξίσωση,

γνωρίζουμε ότι $\sin\beta =$ απέναντι πλευρά της γωνίας β /υποτείνουσα

$$F_A X / F_2 \text{ ή } F_A X = F_2 \sin\beta \text{ και } \eta\mu\beta = R_X / F_2 \text{ ή } R_X = F_2 \eta\mu\beta$$

$$F_r^2 = F_2 \eta\mu\beta +$$

$$\text{Με αντικατάσταση τιμών: } F_r = \sqrt{F_1^2 + 2F_1F_2\cos\beta + F_2^2}$$



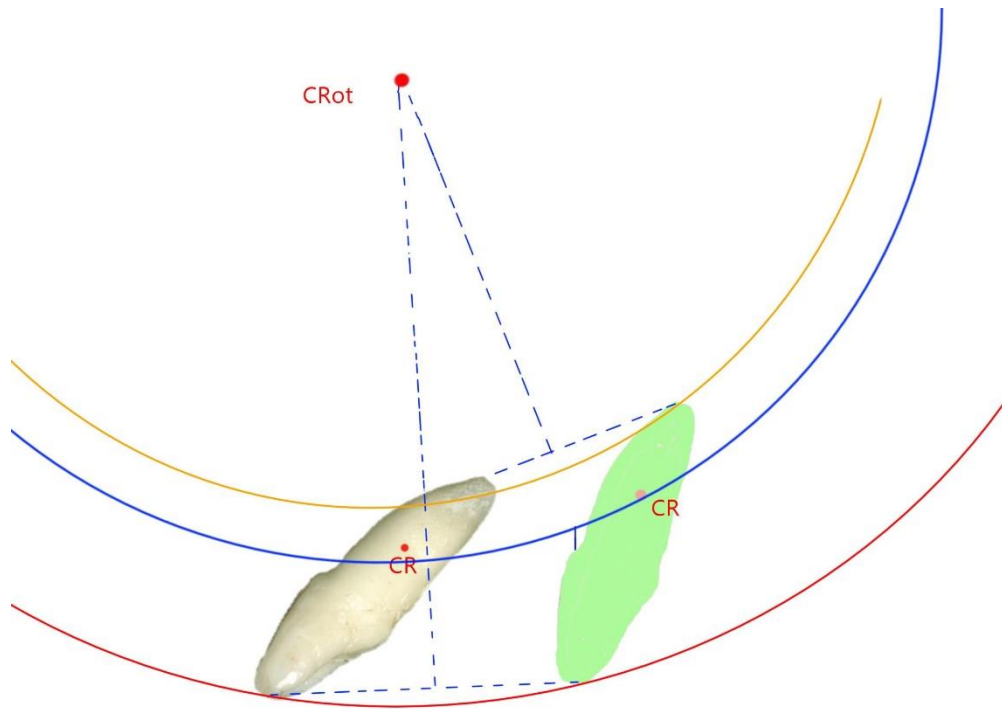
Σχήμα 21: Συνισταμένη με κάθετες συνιστώσες

Στην περίπτωση που εφαρμόζουμε τις δυνάμεις σε ορθή γωνία, η εξίσωση απλοποιείται και μετατρέπεται σε $F_r = \sqrt{X_1^2 + F Y_2^2}$

5 ΚΕΝΤΡΟ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ:

Το κέντρο περιστροφής είναι το σημείο γύρω από το οποίο περιστρέφεται ένα σώμα. Το σημείο αυτό διαφέρει ανάλογα με την εντόπιση του κέντρου αντίστασης και της ασκούμενης δύναμης. Απόλυτη περιστροφή παρατηρείται όταν το κέντρο περιστροφής και το κέντρο αντίστασης συμπίπτουν. Απόλυτη μετατόπιση συμβαίνει όταν το κέντρο περιστροφής απέχει άπειρα από το κέντρο αντίστασης.

Για τον προσδιορισμό του κέντρου περιστροφής ενός σώματος που μετακινείται (Σχήμα 22), επιλέγουμε 2 τυχαία σημεία στο δόντι (ή στο σώμα) και σχηματίζουμε μία γραμμή μεταξύ των πριν- και μετά- θέσεων του κάθε σημείου. Το σημείο τομής των καθέτων αυτών των γραμμών είναι το κέντρο περιστροφής.

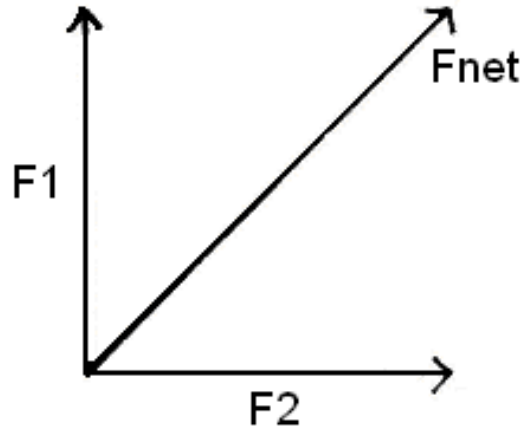


Σχήμα 22: Μέθοδος εύρεσης του κέντρου περιστροφής

5.1.1 Διαγράμματα ελευθέρων σωμάτων

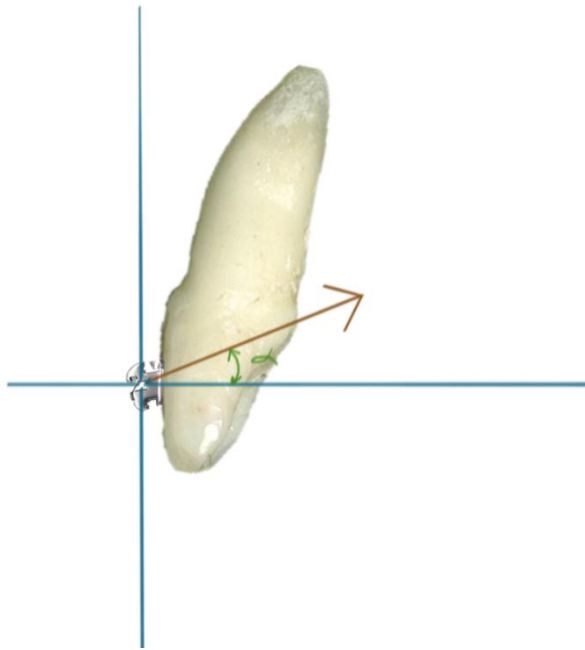
Τα διαγράμματα ελευθέρων σωμάτων υποβοηθούν στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της εφαρμογής διαφόρων δυνάμεων δρώντων σε ένα σώμα ταυτόχρονα (συνισταμένη) ή στην ανάλυση της συνισταμένης στις συνιστώσες της.

Παράδειγμα τέτοιου διαγράμματος με F_1 , F_2 και F_{net} (θυμηθείτε τον κανόνα του παραλληλογράμμου) (Σχήμα 23).



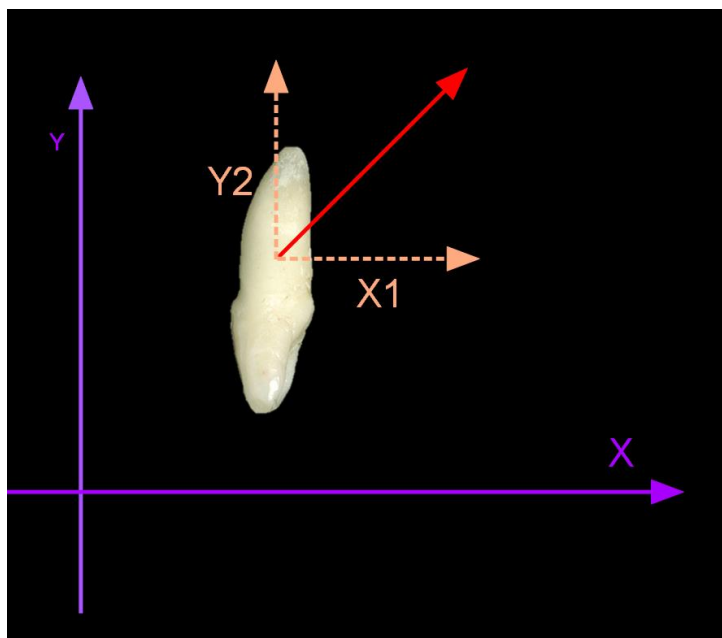
Σχήμα 23: Διάγραμμα ελεύθερου σώματος

Ένα κλινικό παράδειγμα χρήσης του εν λόγω διαγράμματος αφορά στο τόξο εμπύθισης.



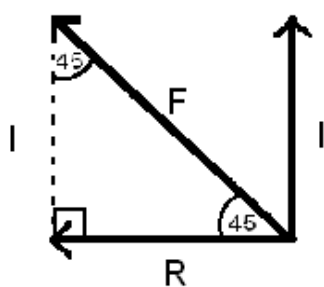
Σχήμα 24: Απλή δύναμη για την εμπύθιση και άπω μετακίνηση άνω τομέα

Μία δύναμη F ασκείται. Έχει συνιστώσες εμπύθισης και άπω μετακίνησης. Εάν γνωρίζουμε το μέγεθος της εφαρμοζόμενης δύναμης και την κατεύθυνση αυτής, μπορούμε να βρούμε το μέγεθος των αντίστοιχων συνιστωσών χρησιμοποιώντας βασικές αρχές τριγωνομετρίας. (Σχήμα 24-25)



Σχήμα 25: Διάγραμμα συνιστωσών

Εάν γνωρίζουμε ότι $F_{net} = 500g$, μπορούμε να λύσουμε για I (συνιστώσα εμβύθισης) και R (συνιστώσα άπω μετακίνησης) χρησιμοποιώντας την τριγωνομετρία (Σχήμα 26).



$$\sin 45 = \frac{I}{F}$$

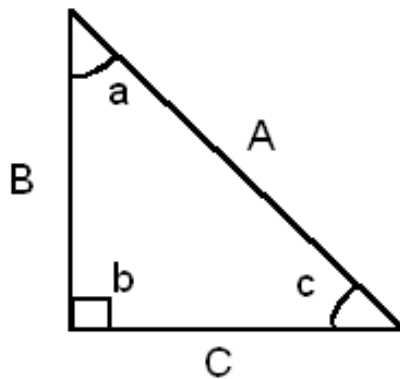
$$\begin{aligned} I &= F \sin 45 \\ &= 500 \sin 45 \\ &= 353 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\cos 45 = \frac{R}{F}$$

$$\begin{aligned} R &= F \cos 45 \\ &= 500 \cos 45 \\ &= 353 \text{ g} \end{aligned}$$

Σχήμα 26: Βρίσκοντας τις συνιστώσες εμβύθισης και άπω μετακίνησης μέσω τριγωνομετρίας

Επομένως, η 500g δύναμη στη διεύθυνση της F_{net} είναι η ίδια με την 353g δύναμη στη διεύθυνση I , και την 353g στη διεύθυνση R ασκούμενες στο ίδιο σώμα την ίδια χρονική στιγμή.



$$\sin a = \frac{\text{opposite}}{\text{hypoteneuse}} = \frac{B}{A}$$

$$\cos a = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypoteneuse}} = \frac{C}{A}$$

$$\tan a = \frac{\text{opposite}}{\text{adjacent}} = \frac{B}{C}$$

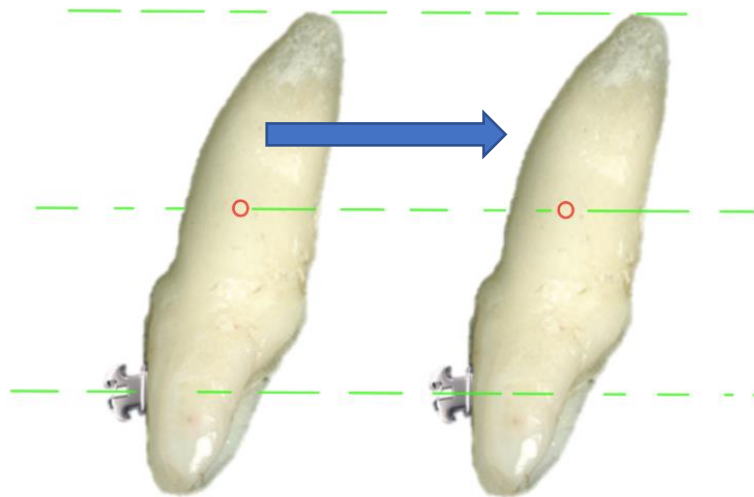
Figure 27: Τριγωνομετρικοί Υπολογισμοί

ΟΔΟΝΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ

Τα δόντια μετακινούνται στα 3 επίπεδα του χώρου. Είναι σημαντικό να συνειδητοποιούμε τις τρισδιάστατες αυτές μετακινήσεις κατά τη σχεδίαση της ορθοδοντικής θεραπείας ώστε να προβλεφθούν οι επιθυμητές, αλλά και οι ανεπιθύμητες δράσεις.

ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ (TRANSLATION)

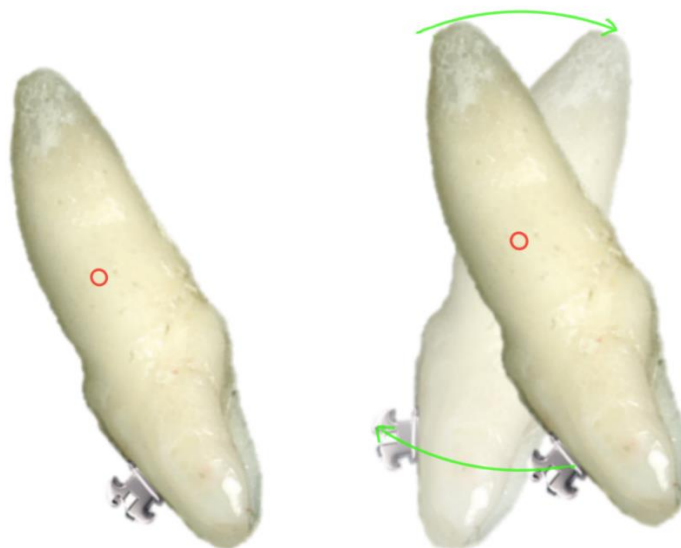
Κατά τη διάρκεια της παράλληλης μετατόπισης, όλα τα σημεία του σώματος μετακινούνται στην ίδια διεύθυνση και στον ίδιο βαθμό (Σχήμα 28). Το κέντρο περιστροφής είναι σε άπειρη απόσταση από το δόντι, καθώς δεν πραγματοποιείται καμία περιστροφή.



Σχήμα 28: Παράλληλη μετατόπιση άνω κεντρικού τομέα

5.2 ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗ (ΑΠΟΛΥΤΗ)

Απόλυτη περιστροφή σημειώνεται, όταν ένα σώμα περιστρέφεται περί το κέντρο περιστροφής του. (Cres) (δηλαδή όταν το κέντρο περιστροφής είναι στο κέντρο αντίστασης (Σχήμα 29).

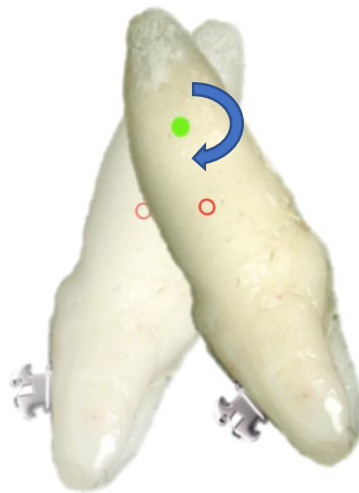


Σχήμα 29: Απόλυτη περιστροφή

5.3 ΚΛΙΣΗ (TIPPING)

Όταν μία δύναμη προκαλεί μετακίνηση με κλίση, το αποτέλεσμα εξαρτάται από το πού ασκείται η δύναμη.

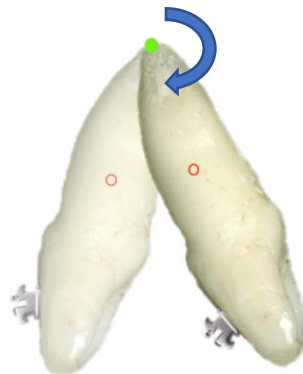
- 5.3.1 Μη ελεγχόμενη κλίση: Όταν η δύναμη ασκείται στη μύλη, η τελευταία μετατοπίζεται προς μία κατεύθυνση και η ρίζα προς την αντίθετη. Σε αυτήν την περίπτωση, το κέντρο περιστροφής εντοπίζεται εγγύς ή ακρορριζικά του κέντρου αντίστασης, οπότε το δόντι λαμβάνει κλίση γύρω από το Cres (Fig 30).



Σχήμα 30: Μετακίνηση με μη ελεγχόμενη κλίση

- 5.3.2 Μετακίνηση με ελεγχόμενη κλίση:

Το κέντρο περιστροφής εντοπίζεται στο ακρορριζίο. Η κίνηση περιλαμβάνει μία ροπή και μία δύναμη, οπότε και το δόντι μετακινείται με απόκλιση γύρω από το Crot (Σχήμα 31).

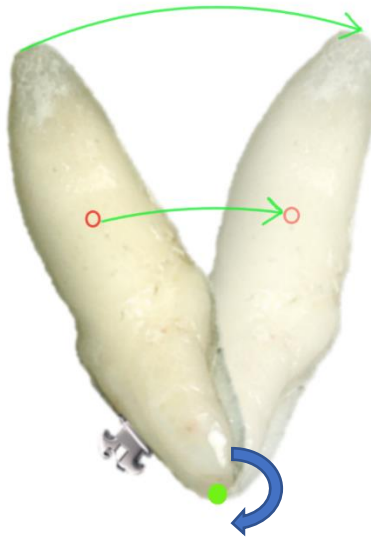


Σχήμα 31: Μετατόπιση με ελεγχόμενη κλίση

A) Για παράδειγμα, στη θεραπεία της Τάξης II κατηγορία 1 με χειλική απόκλιση των άνω τομέων, η χρήση μη ελεγχόμενης μετακίνησης με απόκλιση μπορεί να προκαλέσει διάτρηση του παρειακού πετάλου, ενώ η ελεγχόμενη απόκλιση απολήγει στη μετατόπιση της μύλης μόνο, οπότε και ρίζα δεν προκαλεί την προαναφερθείσα διάτρηση.

5.3.3 Μετακινήσεις ρίζας

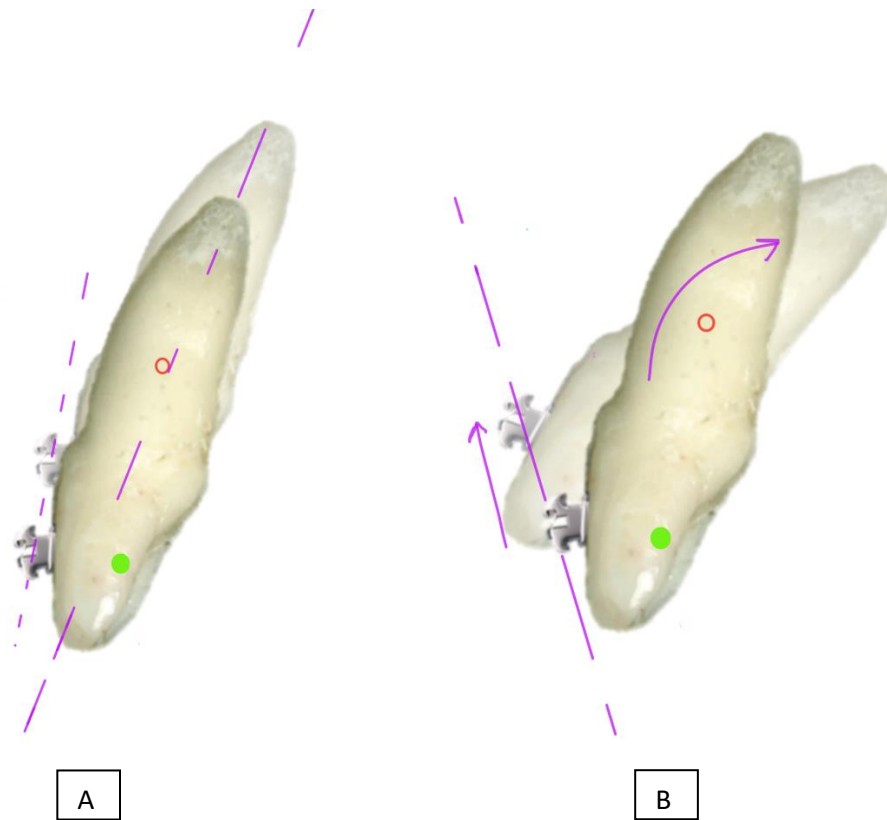
Η ρίζα μετακινείται, όταν το κέντρο περιστροφής εντοπίζεται στο ή κοντά στο κοπτικό άκρο, οπότε και η περιστροφή πραγματοποιείται γύρω από το σημείο αυτό (Σχήμα 32). Η μύλη κατά συνέπεια μετακινείται σε μικρότερα βαθμό σε σχέση με τη ρίζα. Οι μετακινήσεις ριζών απαιτούν περισσότερο χρόνο καθώς συνοδεύονται από οστική απορρόφηση.



Σχήμα 32: Μετακίνηση ρίζας

5.3.4 Εμβύθιση/Εκγόμφωση

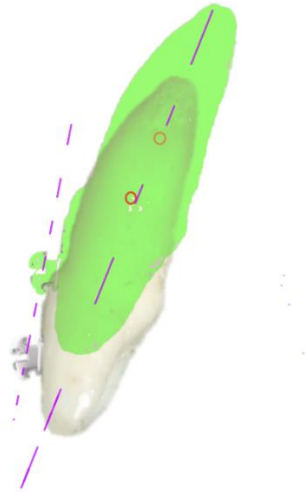
Η εμβύθιση και η εκγόμφωση περιλαμβάνουν κινήσεις κατά των επιμήκη άξονα του δοντιού (Σχήματα 33, Fig 34). Θυμηθείτε την παράλληλη μετακίνηση (Σχήμα 28), το κέντρο περιστροφής βρίσκεται στο άπειρο σε αυτές τις κινήσεις (καθώς δεν καταγράφεται περιστροφή). Με άλλα λόγια, το δόντι περιστρέφεται γύρω από ένα σημείο σε άπειρη απόσταση οπότε δεν θα παρατηρήσουμε περιστροφή, μόνο μία κίνηση εμβύθισης/εκγόμφωσης.



Σχήμα 33: Α. Εμβύθιση τομέα Β. Σχετική εμβύθιση

Εμβύθιση: Στο σχήμα 33Α καταγράφεται απόλυτη εμβύθιση (στο ακόλουθο παράδειγμα, οι ανεπιθύμητες αντιδράσεις από την εμβύθιση δεν λαμβάνονται υπόψιν: όταν ένα δόντι εμβυθίζεται, τα παρακείμενα δόντια κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση ως αντίδραση, εκτός κι αν υπάρχει πρόβλεψη στήριξης. Ανατρέξτε στο κεφάλαιο για τη στήριξη). Η σχετική εμβύθιση είναι το αποτέλεσμα της χελικής απόκλισης με ταυτόχρονη εμβύθιση. (Σχήμα 33Β)

Εκγόμφωση: (στο ακόλουθο παράδειγμα (Σχήμα 34), , οι ανεπιθύμητες αντιδράσεις από την εμβύθιση δεν λαμβάνονται υπόψιν: όταν ένα δόντι εκγομφώνεται, τα παρακείμενα δόντια εμβυθίζονται ήπια ως αντίδραση, εκτός κι αν υπάρχει πρόβλεψη στήριξης. Ανατρέξτε στο κεφάλαιο για τη στήριξη.)



Σχήμα 34:Εμβύθιση τομέα

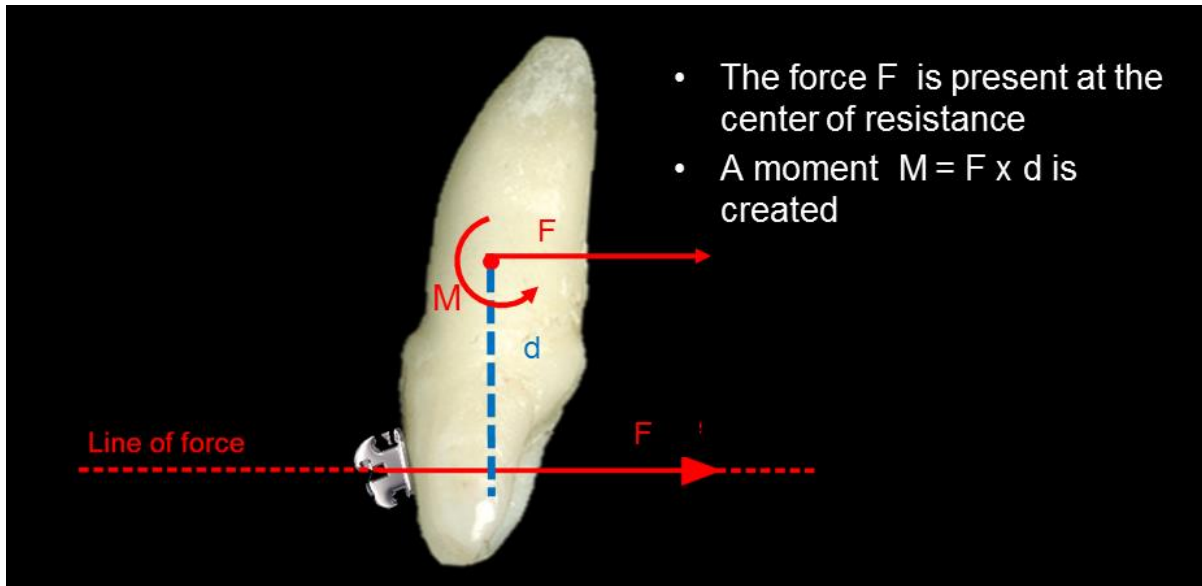
6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Για να κατανοήσουμε πώς προκαλούνται οι επιθυμητές οδοντικές μετακινήσεις, θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας τα συστήματα δυνάμεων. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν μία ροπή και μία δύναμη, η αναλογία των οποίων καθορίζει το είδος της παραγόμενης κίνησης. Η ενότητα αυτή θα καλύψει τις έννοιες της ροπής, του ζεύγους δυνάμεων, της αναλογίας ροπής και δύναμης, καθώς και τις κινήσεις στα ποικίλα συστήματα δυνάμεων.

6.1 ΡΟΠΗ

Η ροπή είναι η τάση της δύναμης που ασκείται σε ένα σώμα, να προκαλεί περιστροφή. Για τον υπολογισμό της ροπής μίας δύναμης, πολλαπλασιάζουμε το μέτρο της δύναμης και την προβολή από το κέντρο αντίστασης γύρω από το οποίο ασκείται η ροπή (Σχήμα 35).

$$M = F \times d$$

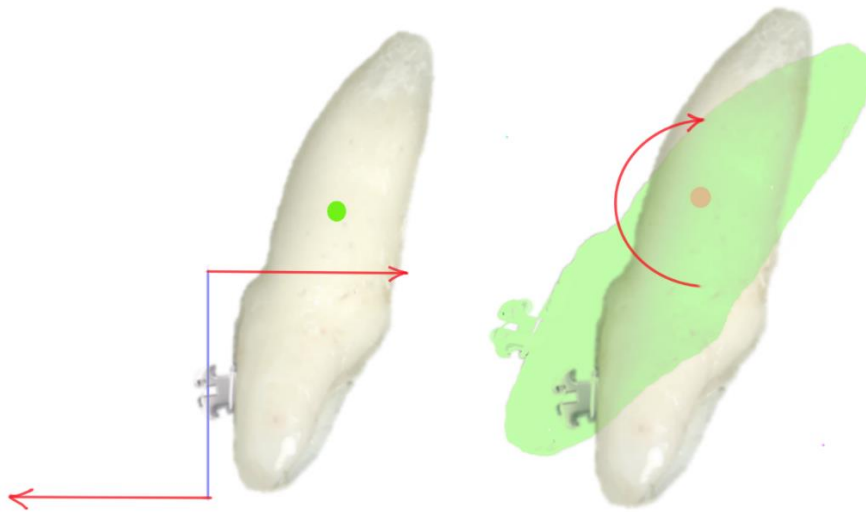


Σχήμα 35: Ροπή παραγόμενη όταν μία δύναμη ασκείται σε απόσταση από το κέντρο αντίστασης

6.2 ΖΕΥΓΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Ένα ζεύγος είναι μία απόλυτη ροπή και δημιουργείται όταν 2 δυνάμεις F_1 , F_2 ίσες και αντίθετες διαχωρίζονται από μία κάθετη απόσταση. Για τον υπολογισμό της ροπής του ζεύγους δυνάμεων, υπολογίζουμε χωριστά τις δυνάμεις.

Παράδειγμα: Οι F_1 και F_2 δεν προκαλούν παράλληλη μετατόπιση γιατί είναι ίσες και αντίθετες, οπότε εξουδετερώνονται αμοιβαία. Οι ροπές των δυνάμεων αυτών όμως δεν εξουδετερώνονται αμοιβαία καθώς παράγουν περιστροφή προς την ίδια κατεύθυνση (φανταστείτε την περιστροφή γύρω από το αντίστοιχο κέντρο περιστροφής, όταν ασκούνται οι δυνάμεις F_1 και F_2). Για τον υπολογισμό της συνολικής ροπής του συστήματος, προσθέτουμε τις επιμέρους ροπές. Αυτό αποτελεί ένα ζεύγος δυνάμεων. Το ζεύγος δυνάμεων είναι ανεξάρτητο της θέσης όπου ασκείται η δύναμη στο σώμα (ή στο δόντι). Παρατηρήστε το ακόλουθο παράδειγμα για ένα ζεύγος δυνάμεων (Σχήμα 36).



Σχήμα 36: Ζεύγος δυνάμεων, παράδειγμα 1

Καθώς το ζεύγος δυνάμεων είναι ανεξάρτητο του σημείου άσκησης των δυνάμεων επί του σώματος, το ίδιο αποτέλεσμα του παραπάνω παραδείγματος μπορεί να επιτευχθεί με άσκηση των δυνάμεων F_1 και F_2 σε μία νέα θέση (οι νέες εντοπίσεις στο παρακάτω παράδειγμα έχουν περισσότερο βιολογικό και κλινικό νόημα).

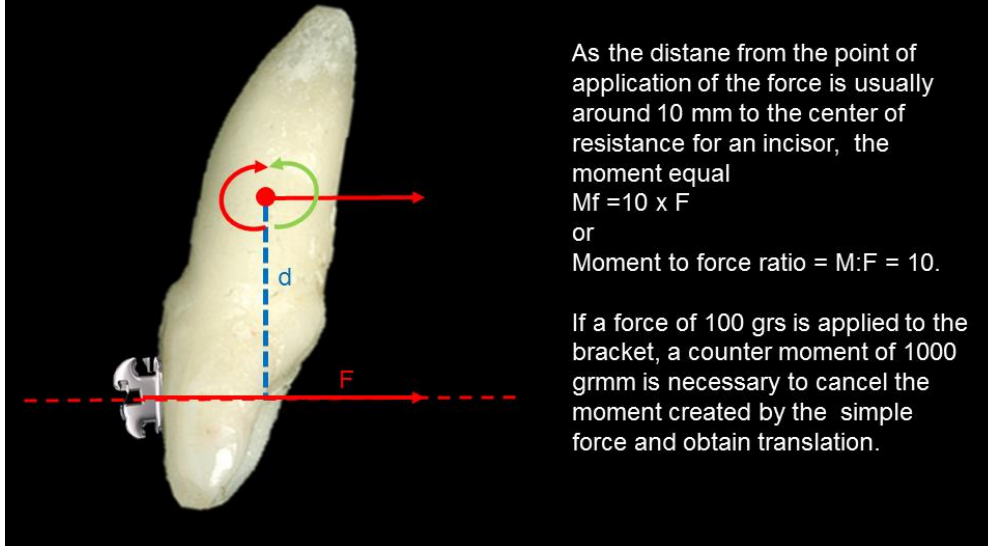
Συμπερασματικά, δεν έχει σημασία πού ενεργεί σε ένα δόντι το ζεύγος δυνάμεων, η καθαρή ροπή ισούται με τη μία δύναμη πολλαπλασιασμένη με την κάθετη απόσταση (προβολή) μεταξύ των δυνάμεων.

6.3 ΛΟΓΟΣ ΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗΣ

Ο λόγος ροπής/δύναμη συνδυάζει τις ευθύγραμμες μετακινήσεις και τις περιστροφικές κινήσεις. Η αναλογία αυτή καθορίζεται από το μέτρο της δύναμης επί την προβολή στο κέντρο αντίστασης του δοντιών ή της ομάδας δοντιών (Σχήμα 37).

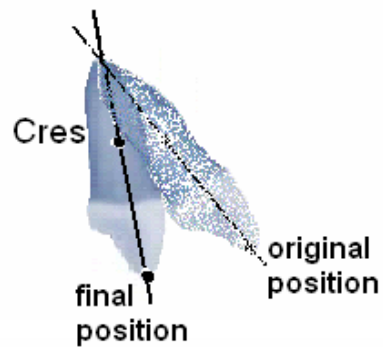
Τα ακόλουθα παραδείγματα καταδεικνύουν την ελεγχόμενη κλίση ενός δοντιού με τη χρήση συνδυασμού παράλληλης μετακίνησης και περιστροφικών κινήσεων (Σχήματα 38, 39).

Moment to force ratio



Σχήμα 37: Λόγος ροπής προς δύναμη για παράλληλη μετακίνηση

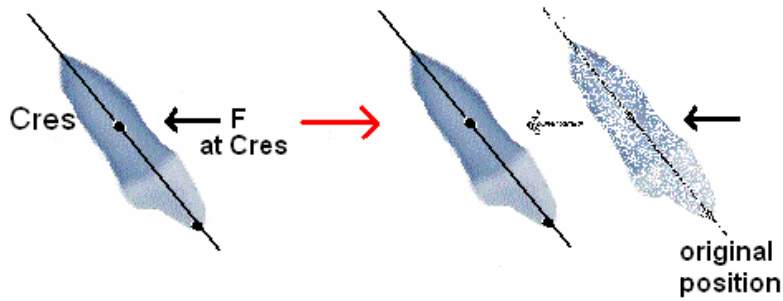
Controlled Tipping:
If we want the following movement:



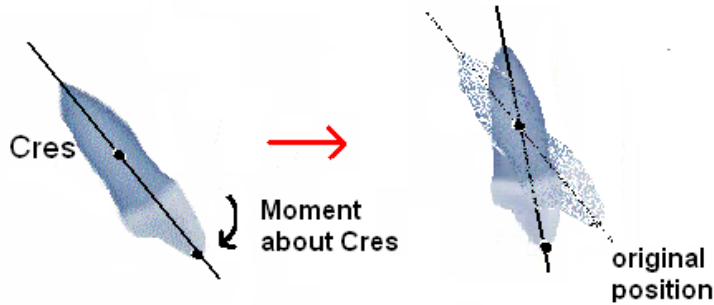
Σχήμα 38: Επιθυμητή κίνηση

Break up the movement into its translation and rotation component parts

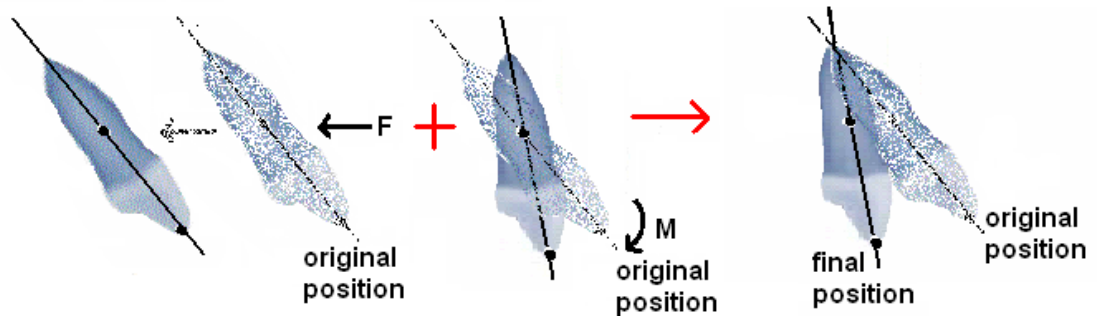
Translation:



Rotation:



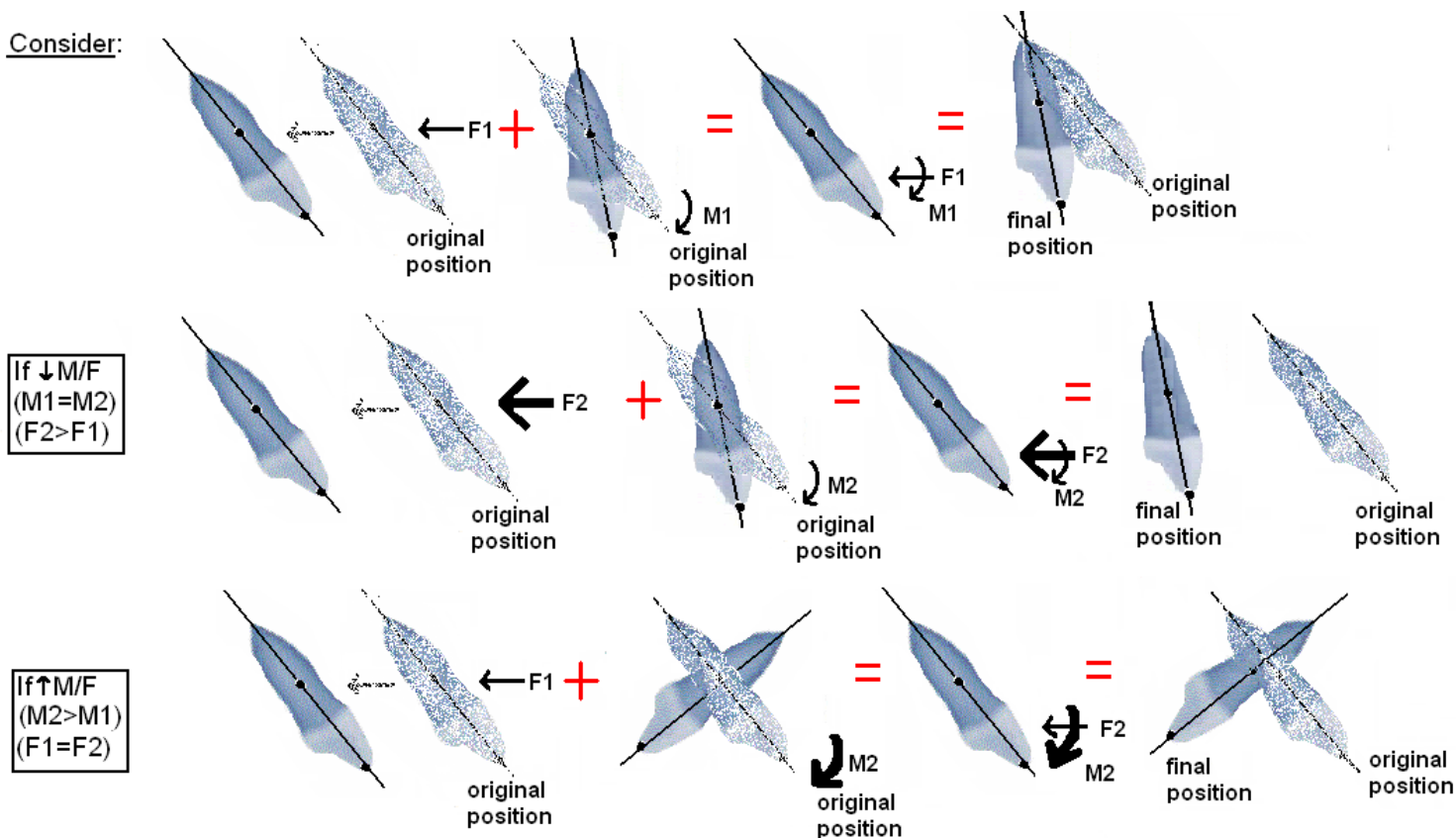
Result:



Σχήμα 39: Συνδυασμός παράλληλης μετακίνησης και περιστροφής για την επίτευξη ελεγχόμενης κλίσης

Αλλάζοντας τον λόγο M/F , παράγονται διαφορετικά κέντρα περιστροφής. Το σχήμα 40 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της αλλαγής αυτού του λόγου στην ελεγχόμενη κλίση. Αν ο λόγος M/F μειωθεί (η ροπή M είναι σταθερή ή μειώνεται και η δύναμη F αυξάνεται), τότε προκύπτει κυρίως παράλληλη μετατόπιση, καθώς το κέντρο περιστροφής μετατοπίζεται προς το ακρορρίζιο (με άλλα λόγια, τείνει προς το άπειρο). Εάν ο λόγος M/F αυξηθεί αυξάνοντας τη ροπή M ή μειώνοντας τη δύναμη, τότε η κίνηση θα είναι κυρίως περιστροφική καθώς το κέντρο περιστροφή μετατοπίζεται προς το κέντρο αντίστασης (με άλλα λόγια μετατοπίζεται πιο κοπτικά σε σύγκριση με την προηγούμενη θέση).

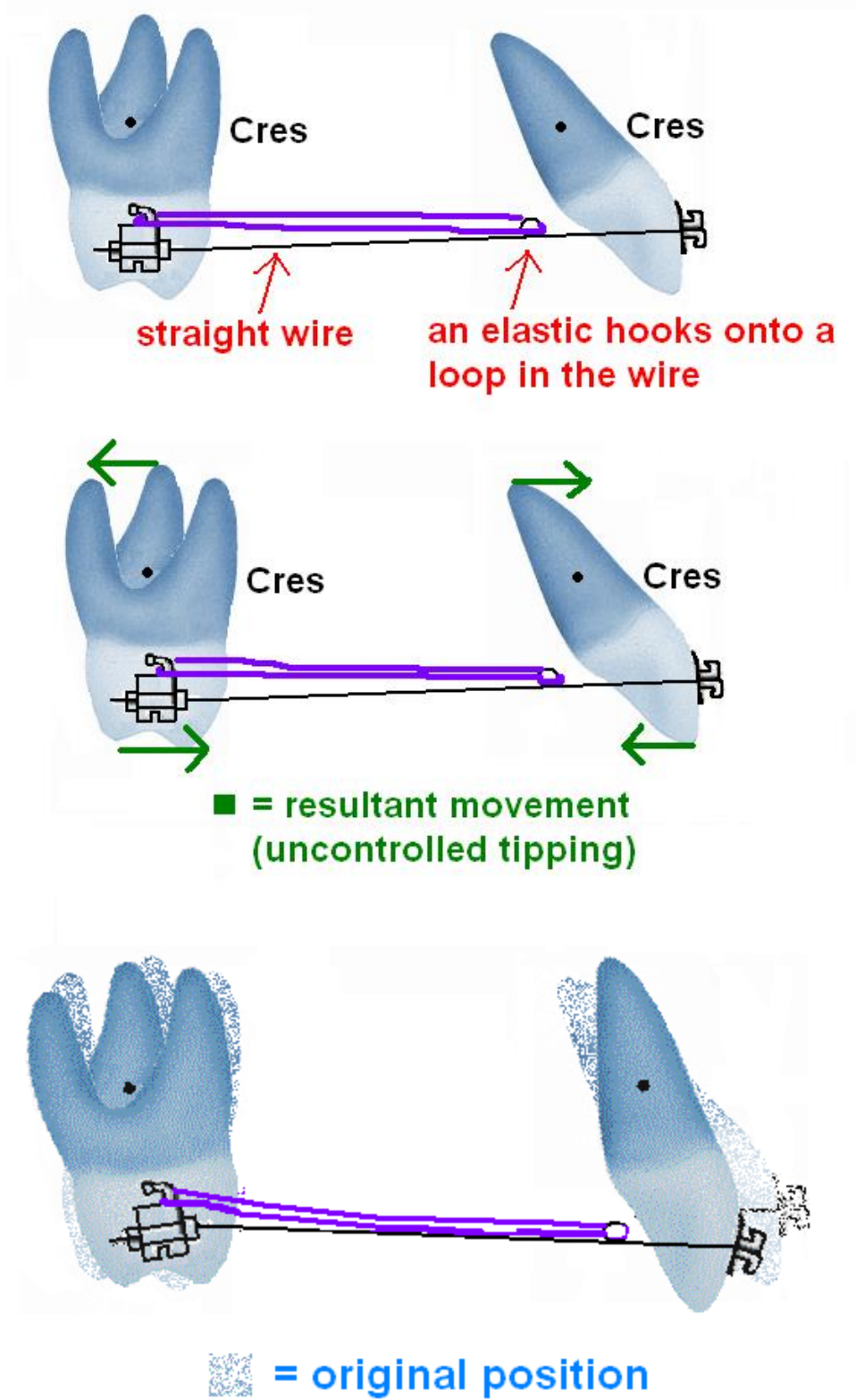
Consider:



Σχήμα 40: Επίδραση της τροποποίησης του λόγου ροπής/δύναμη (M/F)

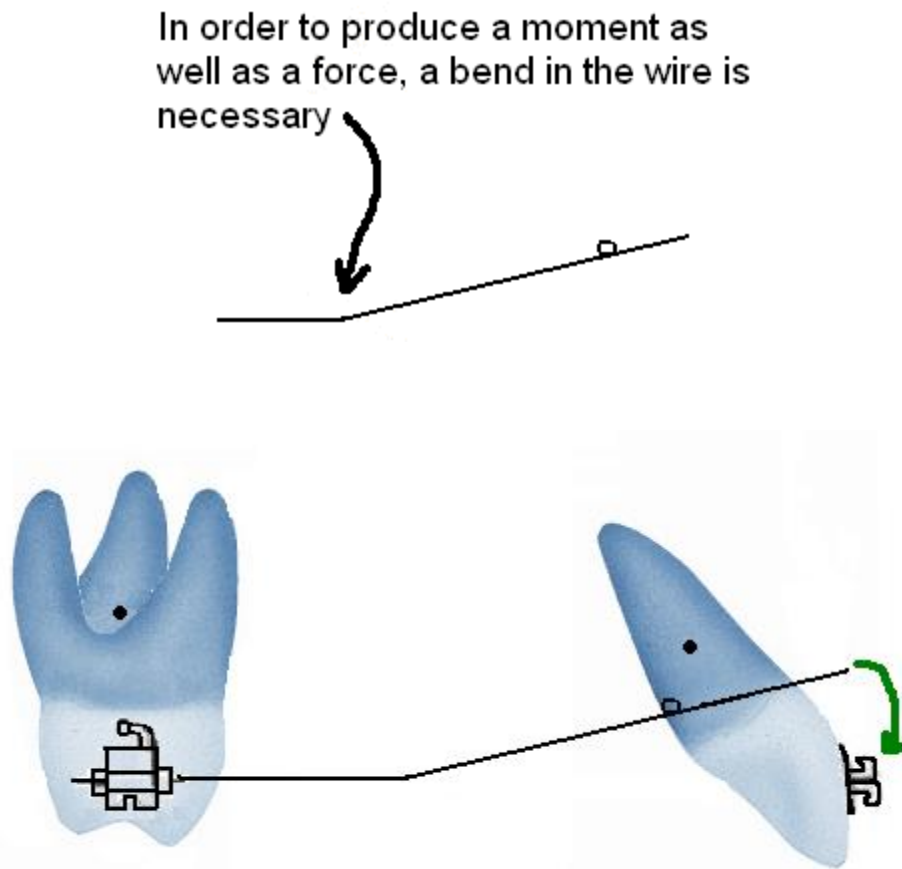
6.4 ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Μπορούμε να εφαρμόσουμε τη γνώση από τα ισοδύναμα συστήματα δυνάμεων σε πραγματικά παραδείγματα, όπως η άπω μετακίνηση των τομέων. Χρησιμοποιώντας ως στήριξη έναν γομφίο, δεν μπορούμε απλά να τοποθετήσουμε ένα ευθύ σύρμα μεταξύ τομέα και γομφίου και να χρησιμοποιήσουμε μία αγκύλη (loop) στο σύρμα με ελαστική πρόσδεση για την άπω μετακίνηση, καθώς αυτή η προσέγγιση θα προκαλέσει μη ελεγχόμενη κλίση αμφότερων των δοντιών. (Σχήμα 41)



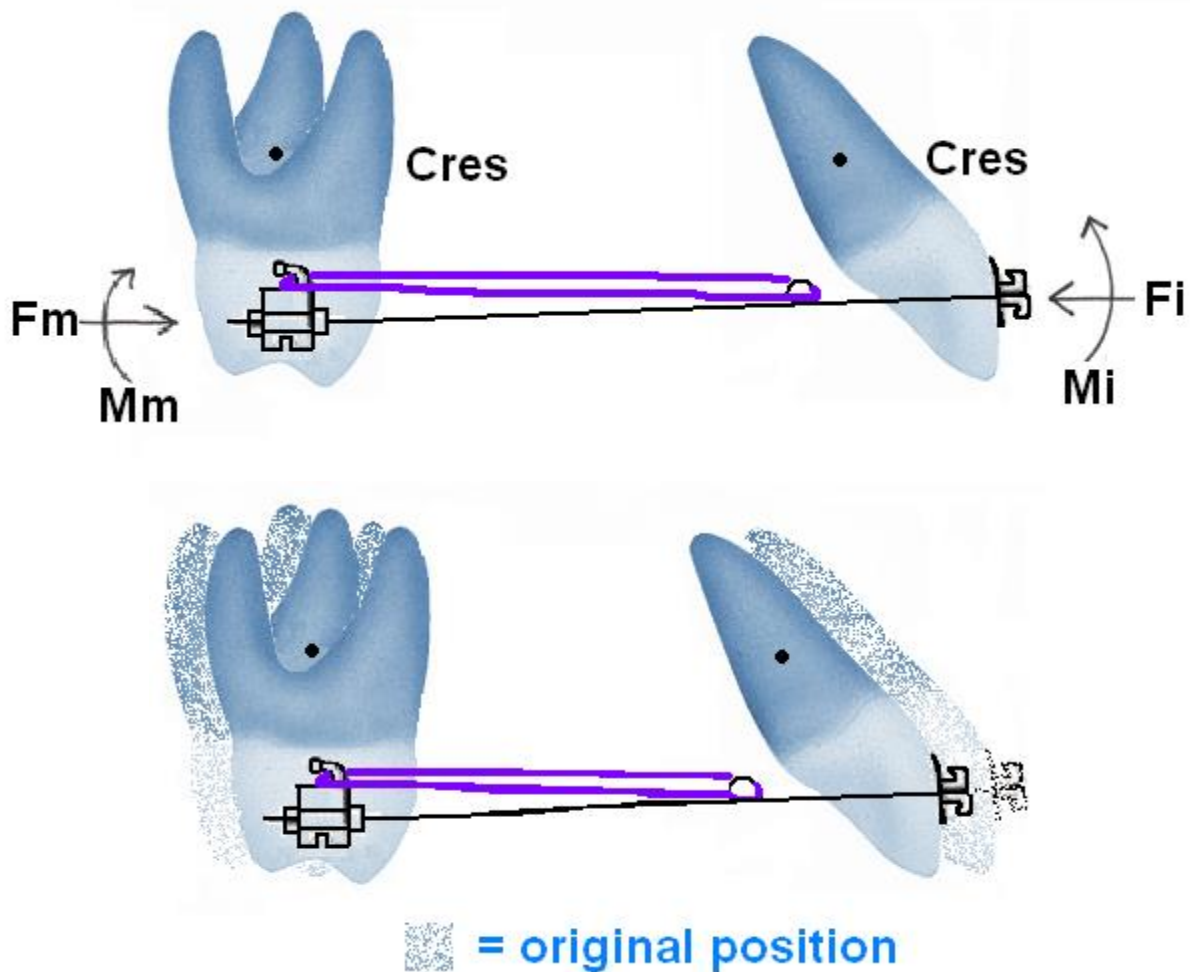
Σχήμα 41: Άπω μετακίνηση τομέα χρησιμοποιώντας ελαστική έλξη σε αγκύλη στο σύρμα: μη ελεγχόμενη κλίση

Για τον έλεγχο της κίνησης, χρειάζεται να εισάγουμε μία ροπή στη μύλη ως αντιστάθμισμα της ροπής που δημιουργείται από τη δύναμη, ώστε να προκληθεί όσο το δυνατόν παράλληλη μετατόπιση (θυμηθείτε τα ισοδύναμα συστήματα δυνάμεων). Μπορούμε να εισάγουμε αυτή τη ροπή με την κάμψη του σύρματος σε τέτοια θέση, ώστε να προκαλείται ελεγχόμενη κλίση του δοντιού με την πρόσδεση του σύρματος. Το παρακάτω παράδειγμα απεικονίζει την παραπάνω έννοια. (Σχήμα 42)



Σχήμα 42: Δημιουργώντας μία ροπή με την κάμψη του σύρματος και μία δύναμη με την αγκύλη στο σύρμα.

Για να εισχωρήσει το σύρμα στην εσοχή (slot) του αγκυλίου του τομέα, απαιτείται η εφαρμογή μία ήπιας πίεσης. Μόλις το σύρμα προσδεθεί στη θέση του με ελαστική πρόσδεση, εφαρμόζονται οι εξής δυνάμεις στα εν λόγω δόντια. (F_m , M_m είναι αντίστοιχα η δύναμη και η ροπή στον γομφίο; F_i , M_i αντίστοιχως στον τομέα).



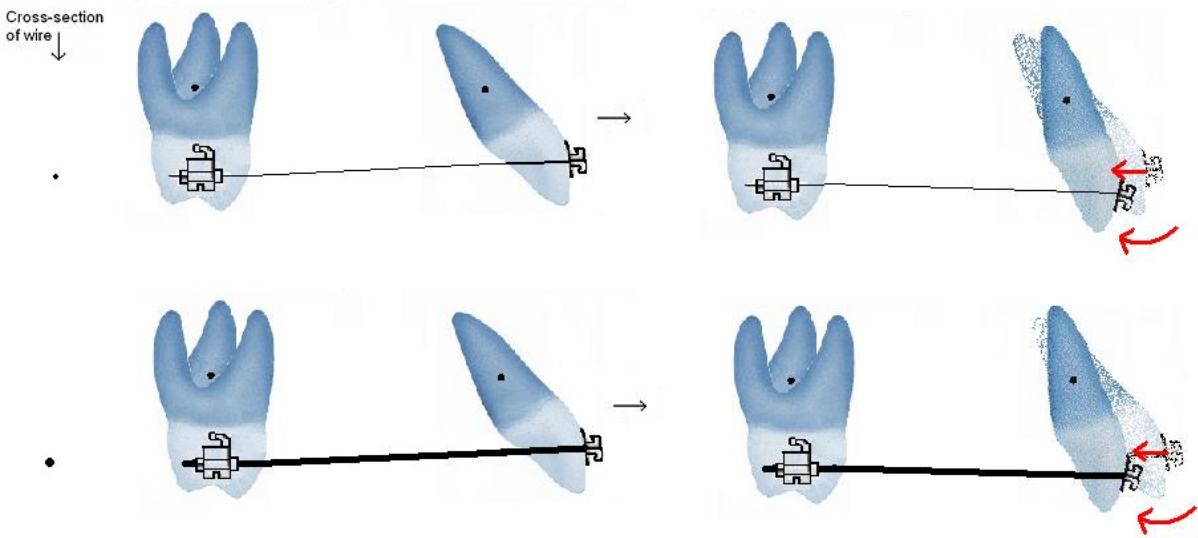
Σχήμα 43: Η προκαλούμενη κίνηση με κάμψη σύρματος και αγκύλη στο σύρμα είναι η άπω μετακίνηση του τομέα (η κλίση είναι ελεγχόμενη και ελάχιστη)

Το παράδειγμα αυτό υποδεικνύει, ότι προσαρμόζοντας την αναλογία M/F, μπορούμε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα της παράλληλης μετακίνησης (Σχήμα 43). Ο λόγος αυτός μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με το προβλεπόμενο θεραπευτικό αποτέλεσμα (ένας βαθμός κλίσης του δοντιού μπορεί, να είναι επιθυμητός).

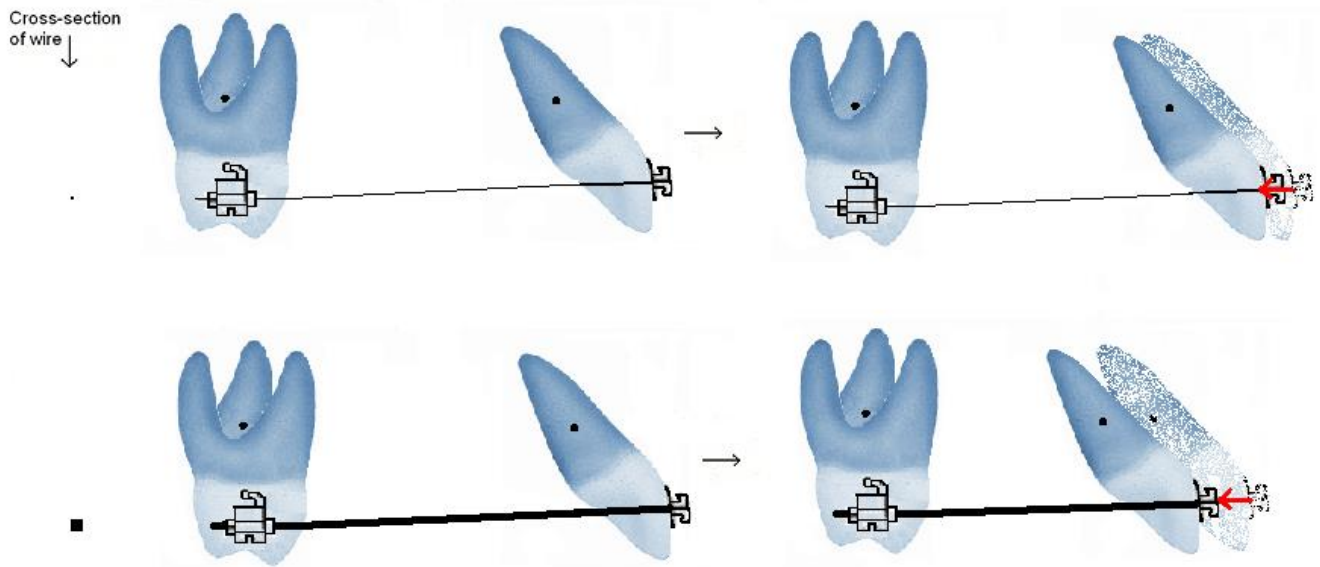
Ο λόγος M/F επηρεάζεται όχι μόνο από την τοποθέτηση ελαστικής δύναμης και κάμψης του σύρματος. Ο τύπος ελαστικής έλξης θα επηρεάσει το μέτρο της δύναμης που ασκείται στο σύστημα. Επιπρόσθετα, το είδος σύρματος (στρογγυλό ή παραλληλόγραμμα), όπως και η διάμετρος αυτού θα επηρεάσουν την εν λόγω αναλογία.

Εάν ένα στρογγυλό σύρμα χρησιμοποιηθεί αντί του ορθογώνιου, θα προκληθεί μη ελεγχόμενη κλίση καθώς το δόντι θα περιστραφεί γύρω από το σύρμα (το αγκύλιο έχει ορθογώνια εσοχή, ενώ το σύρμα είναι στρογγυλό) (Σχήμα 44). Αντίθετα, αν χρησιμοποιηθεί σύρμα

παραλληλόγραμμα, το σύρμα θα πληρώσει την εσοχή του αγκυλίου (παραλληλόγραμμο εντός παραλληλόγραμμου) (Σχήμα 45). Ως απόρροια, η ροπή που δημιουργείται κατά την άπω μετακίνηση του δοντιού θα αντισταθμίσει τη ροπή που θα προκαλούσε μη ελεγχόμενη κλίση. Επιπλέον, το μέγεθος του σύρματος επηρεάζει το αποτέλεσμα. Ένα μικρότερης διαμέτρου σύρμα είναι πιο εύκαμπτο σε σχέση με ένα μεγαλύτερης διαμέτρου, επομένως οι παράλληλες μετακινήσεις των δοντιών επιτυγχάνονται καλύτερα με μεγαλύτερης διαμέτρου σύρματα. Τα τελευταία είναι πιο άκαμπτα και διατηρούν το σχήμα τους, οπότε και καθοδηγούν καλύτερα τη μετακίνηση.



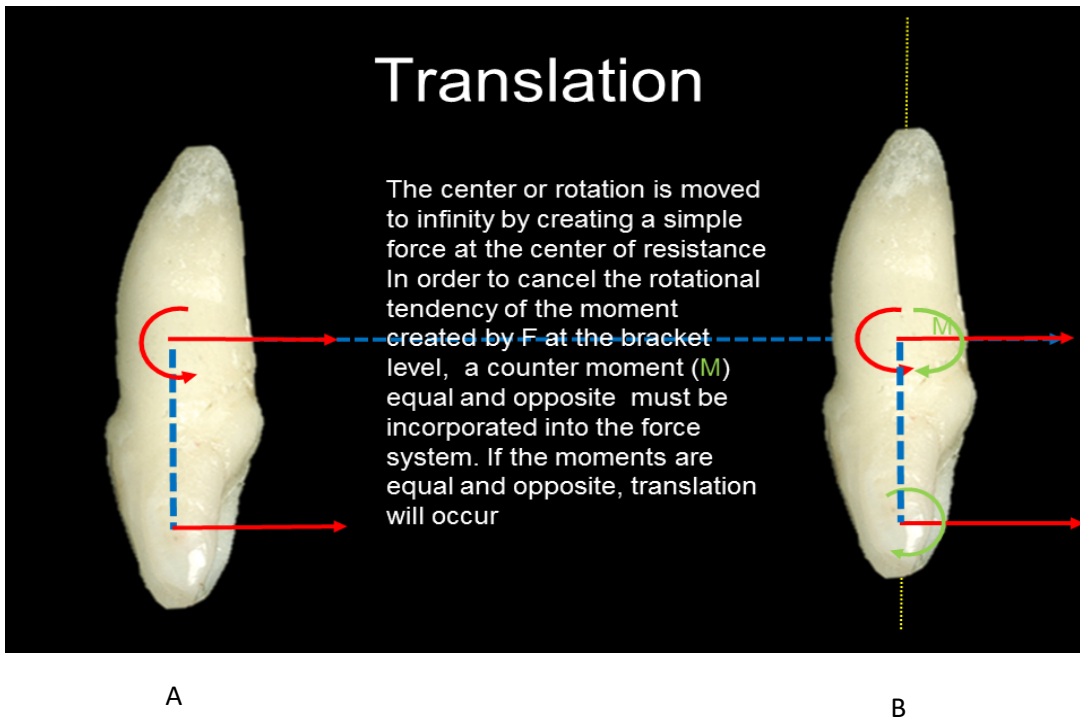
Σχήμα 44: Μηχανική στην άπω μετακίνηση κυνόδοντα με 2 διαφορετικών διαμέτρων στρόγγυλο σύρμα



Σχήμα 45: Μηχανική σε άπω μετακίνηση κυνόδοντα με 2 διαφορετικών διαμέτρων παραλληλόγραμμο σύρμα

6.5 ΙΣΟΔΥΝΑΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

Το πρόβλημα με τα συστήματα δυνάμεων που περιγράφηκε ανωτέρω αφορά στο ότι οι δυνάμεις συχνά ασκούνται στο κέντρο αντίστασης. Είναι όμως ανέφικτο να τοποθετηθεί ένα αγκύλιο στο κέντρο αντίστασης, που εδράζεται στη ρίζα. Η λύση έγκειται στην εφαρμογή των ισοδύναμων συστημάτων δυνάμεων. Ισοδύναμα είναι τα συστήματα δυνάμεων, όπου τα 2 αυτά συστήματα είναι ίσα και στις 3 διαστάσεις (x, y, z), έχουν ίσες ροπές και προκαλούν το ίδιο αποτέλεσμα στο σώμα (ή στο δόντι). Στην ορθοδοντική, τα ισοδύναμα συστήματα προκαλούν τα ίδια αποτελέσματα είτε το σύστημα δύναμης τοποθετείται στο κέντρο αντίστασης είτε σε μυλικό (αγκύλιο/δακτύλιος) επίπεδο.



Σχήμα 46: Παράδειγμα ισοδύναμων συστημάτων

Ποιο είδος συστήματος δύναμης θα προκαλέσει στο B το ίδιο αποτέλεσμα (παράλληλη μετακίνηση) όπως στο A, όταν το σύστημα στο B ασκείται στη μύλη παρά στο κέντρο αντίστασης όπως στο A (Σχήμα 46)? Χρησιμοποιώντας τις έννοιες που περιγράψαμε ήδη, καθώς και τον λόγο ροπή/δύναμη, μπορούμε να επιλύσουμε το πρόβλημα.

(A)

$$F_1 = -300g$$

$$\Sigma M = 0$$

(B)

$$F_2 = -300g$$

$$d = 10mm$$

$$M = F_2 \times d = -3000g \text{ mm}$$

(this is the moment produced by the force F2 on the crown of the tooth)

Η F2 μόνη της προκαλεί μη ελεγχόμενη κλίση του δοντιού, καθώς υπάρχει μία ροπή στο δόντι και το τελευταίο περιστρέφεται γύρω από το κέντρο αντίστασης ($Crot = Cres$). Επομένως, για να προκληθεί η παράλληλη μετακίνηση του συστήματος B που είναι ισοδύναμο με το σύστημα A, μία ροπή στη μύλη είναι απαραίτητη με κατεύθυνση αντίθετη της ροπής από τη μεμονωμένη δύναμη F2, ώστε το αλγεβρικό άθροισμα των ροπών στο σύστημα B να είναι μηδενικό (όπως και στο σύστημα A). Επομένως, η ροπή θα πρέπει να είναι $M = +3000g \text{ mm}$.

3. Παρέχετε στήριξη στη μύλη για να επιτευχθεί μετακίνηση στη ρίζα (πχ αυξήστε τη ροπή)
4. Παράλληλη μετακίνηση δεν θα επιτευχθεί αυξάνοντας μόνον το μέγεθος της ασκούμενης δύναμης.

Ο λόγος M/F στο κέντρο αντίστασης καθορίζει την επίδραση στην περιοδοντική μεμβράνη PDL . Στην περιοχή τάσης (μακριά από την κατεύθυνση της οδοντικής μετακίνησης), εναποτίθεται οστό, ενώ οστό απορροφάται στην περιοχή συμπίεσης της PDL (προς την κατεύθυνση οδοντικής μετακίνησης).

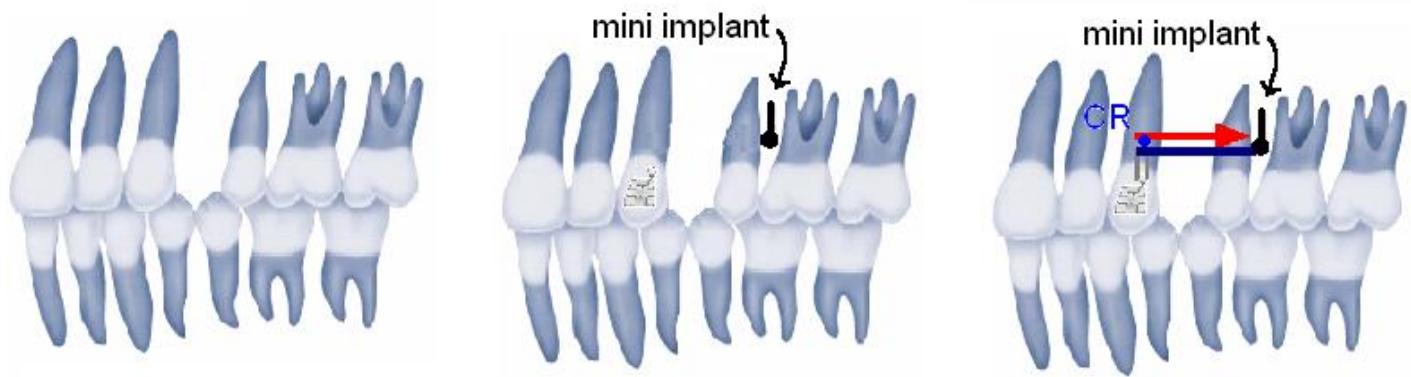
Μην ξεχνάτε, ότι το μέγεθος του λόγου M/F εξαρτάται από το μήκος της ρίζας, την τοπογραφία του οστού (καθώς η απόσταση από το αγκύλιο στο κέντρο αντίστασης θα αλλάξει). Για παράδειγμα, πιο κοντά δόντια απαιτούν μικρότερο λόγο M/F για παράλληλη μετακίνηση σε σχέση με πιο επιμήκη δόντια.

7 ΣΤΗΡΙΞΗ

Η ορθοδοντική στήριξη είναι κεφαλαιώδους σημασίας, καθώς παρέχει αντίσταση σε ανεπιθύμητες μετακινήσεις. Ο 3^{ος} Νόμος του Νεύτωνα είναι θεμελιώδης στη συζήτηση για τη στήριξη. Θυμηθείτε ότι για κάθε δράση υπάρχει η ίση και αντίθετη αντίδραση. Η στήριξη μπορεί να είναι εντός του ίδιου τόξου, μεταξύ των 2 τόξων ή εξωστοματική, προσφέροντας διαφόρου βαθμού σταθερότητα ή αντίσταση σε ανεπιθύμητες μετακινήσεις. Για παράδειγμα, τα δόντια, η υπερώα, το νευρομυϊκό σύστημα, εμφυτεύματα και εξωστοματικές συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στήριξη.

Το μέγεθος της στήριξης που απαιτείται εξαρτάται από το σχέδιο θεραπείας. Για παράδειγμα, για τη σύγκλιση διαστήματος εξαγωγών, υπάρχουν 3 βασικές επιλογές: άπω μετακίνηση των πρόσθιων δοντιών (μέγιστη στήριξη στα οπίσθια δόντια που δεν μετακινούνται), αμοιβαία σύγκλιση του διαστήματος και εγγύς μετακίνηση των οπισθίων δοντιών μόνο.

Μέγιστη στήριξη επιτυγχάνεται με τη χρήση εμφυτευμάτων (micro, mini, υπερώων) και εξωστοματικών συσκευών. Η στήριξη αυτού του τύπου παρατηρείται, όταν η μονάδα στήριξης δεν μετακινείται καθόλου, ενώ τα υπόλοιπα δόντια βρίσκονται υπό μετακίνηση. Αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί με ενδοστοματικές συσκευές αποκλειστικά (με την εξαίρεση των εμφυτευμάτων) καθώς πάντα καταγράφεται οδοντοφατνιακή απόκριση που επηρεάζει την μονάδα στήριξης. Ένα παράδειγμα ενδοστοματικής συσκευής που παρέχει αρκετή στήριξη (αλλά όχι τη μέγιστη που παρέχουν άλλα συστήματα μέγιστης στήριξης) είναι η συσκευή Herbst.



Σχήμα 48: Χρήση μίνι εμφυτευμάτων στην άπω κυνοδοντική μετακίνηση

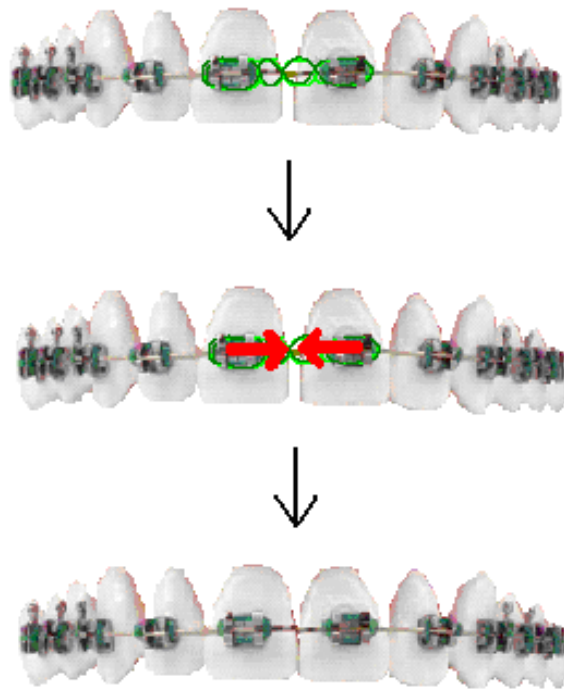
Η χρήση μίνι εμφυτευμάτων είναι πλέον πολύ διαδεδομένη στην ορθοδοντική. Το ακόλουθο παράδειγμα περιγράφει πώς ένας κυνόδοντας μπορεί να μετακινηθεί άπω με παράλληλη μετακίνηση με τη χρήση μίνι εμφυτεύματος (Σχήμα 48). Στην περίπτωση αυτή, η μετακίνηση αυτή είναι εφικτή καθώς η ασκούμενη δύναμη είναι κοντά στο κέντρο αντίστασης. Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι με τα εμφυτεύματα (ειδικά τα παρειακά) προκαλείται μία ανεπιθύμητη μετακίνηση σε άλλο επίπεδο του χώρου (προς την παρειακή κατεύθυνση). Το γεγονός αυτό μπορεί να περιοριστεί με τη χρήση κατάλληλου σύρματος (δείτε τη σχετική ενότητα).

Μέσου βαθμού στήριξη επιτυγχάνεται όταν η μονάδα στήριξης μπορεί να μετατοπιστεί, αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με τη μονάδα δοντιών που μετακινούνται ενεργητικά. Ο τύπος αυτός στήριξης επιτυγχάνεται συνήθως με ενδοστοματικές συσκευές ή με ομάδες δοντιών. Συνδυασμοί μέγιστης και μέτριας στήριξης μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Για παράδειγμα, σε περιστατικό εξαγωγής δεύτερων προγομφίων, όπου επιχειρείται η άπω μετακίνηση του πρώτου προγομφίου, αλλά πρέπει να αποφευχθεί η εγγύς μετακίνηση του πρώτου γομφίου, μπορούμε να συνδέσουμε τον πρώτο με τον δεύτερο γομφίο.

Αν θέλουμε να μετακινήσουμε όλο το πρόσθιο τμήμα, επιπρόσθετη στήριξη μπορεί, να απαιτηθεί και ένα εξωστοματικό μπορεί, να προστεθεί.

Η ικανότητα στήριξης ενός συστήματος δύναται να αυξηθεί είτε αυξάνοντας τον αριθμό των εμπλεκόμενων δοντιών είτε προσθέτοντας εξωστοματική στήριξη, ανάλογα με τους θεραπευτικούς στόχους.

Μία περίπτωση όπου δεν απαιτείται στήριξη είναι η αμοιβαία μετακίνηση, όπως η σύγκλιση μεσοδόντιου διαστήματος (Σχήμα 49).



Σχήμα 49: Αμοιβαία μετακίνηση για σύγκλιση μεσοδοντίου διαστήματος

7.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

7.1.1 Κυνοδοντική μετακίνηση

Για τη σύγκλιση διαστήματος μετά την εξαγωγή προγομφίου, ο κυνόδοντας πρέπει αρχικά να μετακινηθεί άπω, ακολουθούμενος από τους τομείς ή εναλλακτικά και τα έξι πρόσθια δόντια μπορούν να μετακινηθούν συνολικά (en masse). Για να περιγραφεί η εμβιομηχανική, θα χρησιμοποιηθεί το παράδειγμα της κυνοδοντικής άπω μετακίνησης. Το δόντι υπόκειται σε μία δύναμη άπω έλξης κατά μήκος του σύρματος. Καθώς η δύναμη ασκείται μασητικά ως προς το κέντρο αντίστασης, παρατηρείται μία τάση κλίσης του δοντιού. Η τάσης αυτή εξισορροπείται από ένα ζεύγος δυνάμεων που δημιουργείται από το αγκύλιο και το σύρμα, προκαλώντας μία μικρή αλλαγή στην απόκλιση του επιμήκους άξονα του δοντιού. Αυτό το ζεύγος εξαρτάται φυσικά από το μέγεθος και το σχήμα του σύρματος. Το τελευταίο πρέπει να πληρώνει όλη τη σχισμή του αγκυλίου, ώστε να δημιουργηθεί το εν λόγω ζεύγος δυνάμεων. Το αποτέλεσμα της δράσης αυτής είναι η παράλληλη άπω μετακίνηση του κυνόδοντα διατηρώντας τη ρίζα αυτού παράλληλη προς τα παρακείμενα δόντια.

7.1.2 Εκγόμφωση για επιμήκυνση μύλης (CCL) και τοποθέτηση εμφυτεύματος

Οι κλινικές εφαρμογές των οδοντικών μετακινήσεων αφορούν πλην της ορθοδοντικής και άλλες οδοντιατρικές ειδικότητες. Παραδείγματος χάριν, αν θέλουμε να επιμηκύνουμε την κλινική μύλη ενός δοντιού σε ασθενή που δεν επιδέχεται περιοδοντική παρέμβαση για τον

σκοπό αυτό (πχ στην αισθητική ζώνη) η ορθοδοντική εκγόμφωση αποτελεί μία επιλογή. Η εκγόμφωση αυτή μπορεί να είναι βραδεία ή ταχεία ανάλογα με το θεραπευτικό σχέδιο και εξαρτάται από τις δυνάμεις που θα εφαρμοστούν μέσω των ορθοδοντικών συσκευών. Τέτοιο παράδειγμα αφορά η προετοιμασία μίας περιοχής για την τοποθέτηση εμφυτεύματος.

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΑΝΑΓΝΩΣΜΑΤΑ

- Andrews, L. F. (1979). "The straight-wire appliance." British Journal of Orthodontics **6**(3): 125-143.
- Antoszewska, J. and N. Küçükkeles (2011). Biomechanics of Tooth-Movement: Current Look at Orthodontic Fundamental, INTECH Open Access Publisher.
- Barlow, M. and K. Kula (2008). "Factors influencing efficiency of sliding mechanics to close extraction space: a systematic review." Orthodontics & craniofacial research **11**(2): 65-73.
- Beertsen, W., C. A. McCulloch and J. Sodek (1997). "The periodontal ligament: a unique, multifunctional connective tissue." Periodontology 2000 **13**(1): 20-40.
- Begg, P. R. (1954). "Stone Age man's dentition: with reference to anatomically correct occlusion, the etiology of malocclusion, and a technique for its treatment." American Journal of Orthodontics **40**(4): 298-312.
- Bridges, T., G. King and A. Mohammed (1988). "The effect of age on tooth movement and mineral density in the alveolar tissues of the rat." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **93**(3): 245-250.
- Brudvik, P. and P. Rygh (1993). "The initial phase of orthodontic root resorption incident to local compression of the periodontal ligament." The European Journal of Orthodontics **15**(4): 249-263.
- Burstone, C. J. (1962). "Rationale of the segmented arch." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **48**(11): 805-822.
- Burstone, C. J. (2011). "Application of bioengineering to clinical orthodontics." Orthodontics-E-Book: Current Principles and Techniques: 345.
- Burstone, C. J. and H. A. Koenig (1974). "Force systems from an ideal arch." American journal of orthodontics **65**(3): 270-289.
- Burstone, C. J. and H. A. Koenig (1988). "Creative wire bending—the force system from step and V bends." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **93**(1): 59-67.
- Burstone, C. J. and R. J. Pryputniewicz (1980). "Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces." American journal of orthodontics **77**(4): 396-409.
- Cahill, D. R. and S. C. Marks (1980). "Tooth eruption: evidence for the central role of the dental follicle." Journal of Oral Pathology & Medicine **9**(4): 189-200.
- Cai, Y., X. Yang, B. He and J. Yao (2015). "Finite element method analysis of the periodontal ligament in mandibular canine movement with transparent tooth correction treatment." BMC oral health **15**(1): 106.
- Caputo, M., C. Di Luzio, A. Bellisario, F. Squillace and M. L. Favale (2017). "Evaluation Of The Effectiveness Of Clear Aligners Therapy In Orthodontic Tooth Movement."
- Castroflorio, T., F. Garino, A. Lazzaro and C. Debernardi (2013). "Upper-incisor root control with Invisalign appliances." J Clin Orthod **47**(6): 346-351.

Chen, G., F. Teng and T.-M. Xu (2016). "Distalization of the maxillary and mandibular dentitions with miniscrew anchorage in a patient with moderate Class I bimaxillary dentoalveolar protrusion." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **149**(3): 401-410.

Choy, K., E.-K. Pae, K.-H. Kim, Y. C. Park and C. J. Burstone (2002). "Controlled space closure with a statically determinate retraction system." The Angle Orthodontist **72**(3): 191-198.

Cobo, J., A. Sicilia, J. Argüelles, D. Suárez and M. Vijande (1993). "Initial stress induced in periodontal tissue with diverse degrees of bone loss by an orthodontic force: tridimensional analysis by means of the finite element method." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **104**(5): 448-454.

Cope, J. (2011). "An interview with Jason Cope." Dental Press Journal of Orthodontics **16**(2): 36-46.

Epstein, M. B. (2002). Benefits and rationale of differential bracket slot sizes: the use of 0.018-inch and 0.022-inch slot sizes within a single bracket system.

Fiorelli, G., B. Melsen and C. Modica (2001). "Differentiated orthodontic mechanics for dental midline correction." Journal of clinical orthodontics: JCO **35**(4): 239.

Garino, F., T. Castroflorio, S. Daher, S. Ravera, G. Rossini, G. Cugliari and A. Deregibus (2016). "Effectiveness of composite attachments in controlling upper-molar movement with aligners." J Clin Orthod **50**(6): 341-347.

Gebeck, T. R. and L. L. Merrifield (1995). "Orthodontic diagnosis and treatment analysis—concepts and values. Part I." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **107**(4): 434-443.

Gebeck, T. R. and L. L. Merrifield (1995). "Orthodontic diagnosis and treatment analysis—concepts and values: part II." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **107**(5): 541-547.

Geramy, A., K. Tanne, M. Moradi, H. Golshahi and Y. Farajzadeh Jalali (2016). "Finite element analysis of the convergence of the centers of resistance and rotation in extreme moment-to-force ratios." Int Orthod **14**(2): 161-170.

Geron, S., R. Romano and T. Brosh (2004). "Vertical forces in labial and lingual orthodontics applied on maxillary incisors—a theoretical approach." The Angle Orthodontist **74**(2): 195-201.

Giancotti, A. and A. A. Gianelly (2001). "Three-Dimensional Control in Extraction Cases Using a Bidimensional Approach." World Journal of Orthodontics **2**(2).

Giancotti, A., P. Mozzicato and M. Greco (2012). "En masse retraction of the anterior teeth using a modified bidimensional technique." Journal of Clinical Orthodontics **46**(5): 267.

Jacobs, R. and D. v. Steenberghe (1994). "Role of periodontal ligament receptors in the tactile function of teeth: a review." Journal of periodontal research **29**(3): 153-167.

Kim, S.-J., J.-W. Kim, T.-H. Choi and K.-J. Lee (2014). "Combined use of miniscrews and continuous arch for intrusive root movement of incisors in Class II division 2 with gummy smile." The Angle Orthodontist **84**(5): 910-918.

Koenig, H. A. and C. J. Burstone (1989). "Force systems from an ideal arch—large deflection considerations." The Angle Orthodontist **59**(1): 11-16.

Kojima, Y. and H. Fukui (2014). "A finite element simulation of initial movement, orthodontic movement, and the centre of resistance of the maxillary teeth connected with an archwire." European Journal of Orthodontics **36**(3): 255-261.

Krishnan, V. and Z. e. Davidovitch (2006). "Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **129**(4): 469. e461-469. e432.

Kurol, J. and P. Owman-Moll (1998). "Hyalinization and root resorption during early orthodontic tooth movement in adolescents." The Angle orthodontist **68**(2): 161-166.

Kusy, R. P. and J. C. Tulloch (1986). "Analysis of moment/force ratios in the mechanics of tooth movement." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **90**(2): 127-131.

Lavigne, G., J. Kim, C. Valiquette and J. Lund (1987). "Evidence that periodontal pressoreceptors provide positive feedback to jaw closing muscles during mastication." Journal of Neurophysiology **58**(2): 342-358.

Lekic, P. and C. McCulloch (1996). "Periodontal ligament cell populations: the central role of fibroblasts in creating a unique tissue." The Anatomical Record **245**(2): 327-341.

Lindauer, S. J. (2001). The basics of orthodontic mechanics. Seminars in Orthodontics, Elsevier.

McCulloch, C. A. and S. Bordin (1991). "Role of fibroblast subpopulations in periodontal physiology and pathology." Journal of periodontal research **26**(3): 144-154.

Mcculloch, C. A., P. Lekic and M. D. Mckee (2000). "Role of physical forces in regulating the form and function of the periodontal ligament." Periodontology 2000 **24**(1): 56-72.

Meling, T. R., J. Ødegaard and E. Ø. Meling (1997). "On mechanical properties of square and rectangular stainless steel wires tested in torsion." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **111**(3): 310-320.

Melsen, B. (1999). "Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement." The Angle orthodontist **69**(2): 151-158.