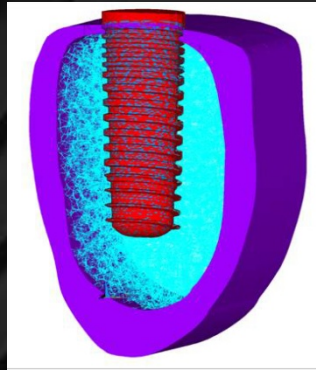


Εμβιομηχανική εμφυτευμάτων



Προπτυχιακά μαθήματα

2022 – 2023

Λ. ΠΟΔΑΡΟΠΟΥΛΟΣ

Οδοντιατρική Σχολή

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Μακροσκοπική οργάνωση του οστού

- Φλοιώδες ή συμπαγές (Cortical or compact)
- Σπογγώδες ή δοκιδώδες (Trabecular or cancellous)

D1

D2

D3

D4



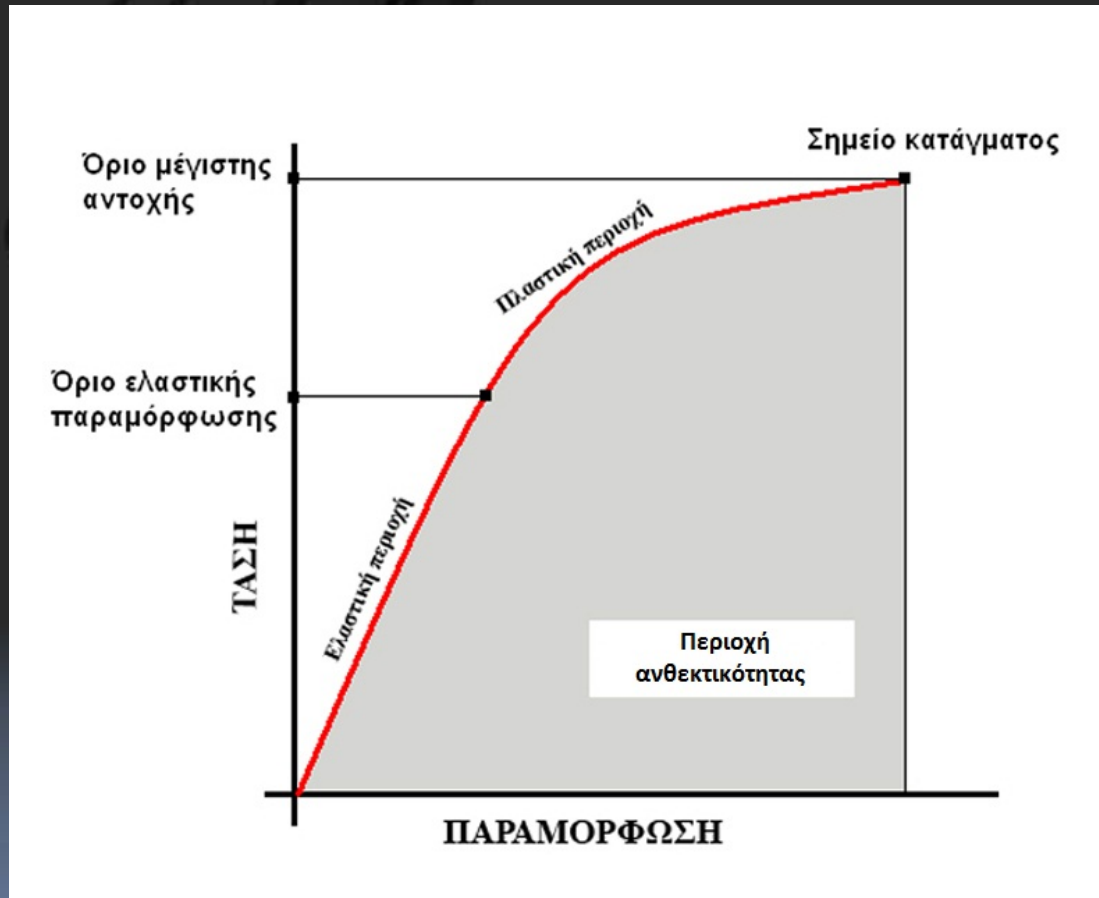
Μικροσκοπική οργάνωση του οστού

- Δικτυωτό οστό (άωρο, άναρχο) - (Woven bone)
- Πεταλιδώδες οστό – (Lamellar bone)
- Δεσμιδωτό οστό – (Bundle bone)

Μηχανικές ιδιότητες του οστού

- Περισσότερο ανθεκτικό στη συμπίεση, λιγότερο στον εφελκυσμό και ακόμη πιο ευάλωτο στις δυνάμεις διάτμησης.
- Η αντοχή στη συμπίεση είναι ανάλογη του τετραγώνου της πυκνότητάς του.
- Το μέτρο ελαστικότητας και η μέγιστη αντοχή στη συμπίεση του συμπαγούς είναι μέχρι και 10 φορές υψηλότερη από αυτή του σπογγώδους.

Μηχανικές ιδιότητες του οστού

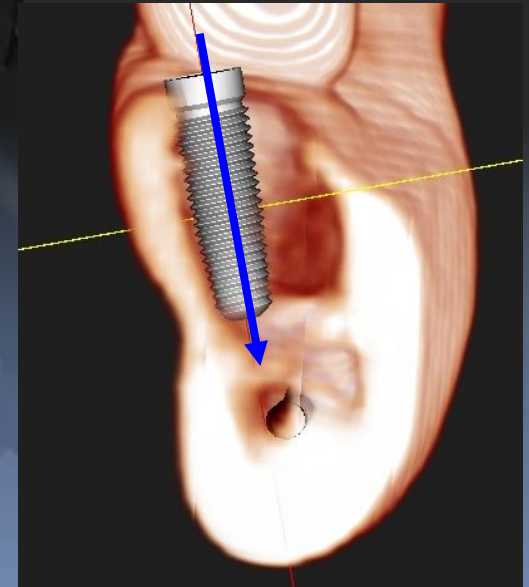


Στη φάση της πλαστικής παραμόρφωσης παρατηρούνται μικροκατάγματα στο εσωτερικό του υδροξυαπατίτη και διάσπαση των κολλαγόνων ινιδίων.

Μηχανικές ιδιότητες του οστού

Όταν γίνεται λόγος για δυνάμεις (forces) που ασκούνται στο οστό χρησιμοποιούμε τον όρο «τάση» (stress): δύναμη ανά επιφάνεια.

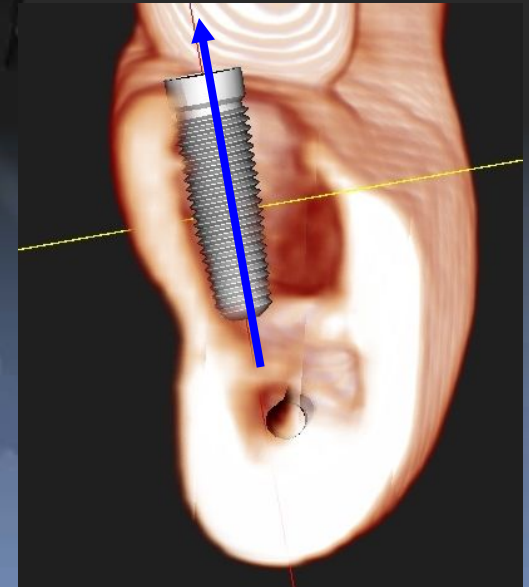
- Συμπιεστική τάση (compressive stress)
- Εφελκυστική τάση (tensile stress)
- Διατμητική τάση (shear stress)



Μηχανικές ιδιότητες του οστού

Όταν γίνεται λόγος για δυνάμεις (forces) που ασκούνται στο οστό χρησιμοποιούμε τον όρο «τάση» (stress): δύναμη ανά επιφάνεια.

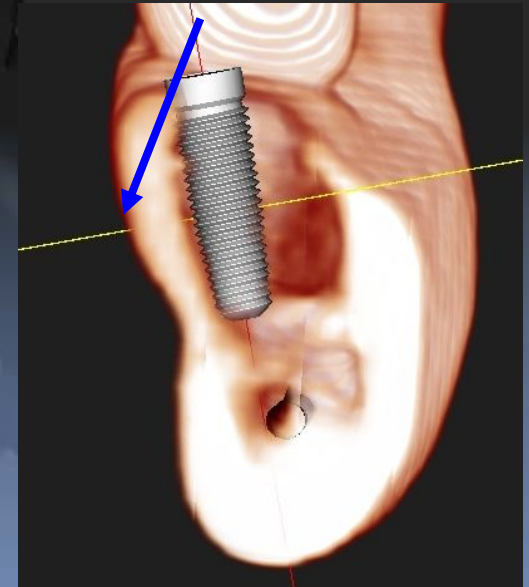
- Συμπιεστική τάση (compressive stress)
- Εφελκυστική τάση (tensile stress)
- Διατμητική τάση (shear stress)



Μηχανικές ιδιότητες του οστού

Όταν γίνεται λόγος για δυνάμεις (forces) που ασκούνται στο οστό χρησιμοποιούμε τον όρο «τάση» (stress): δύναμη ανά επιφάνεια.

- Συμπιεστική τάση (compressive stress)
- Εφελκυστική τάση (tensile stress)
- Διατμητική τάση (shear stress)



Μηχανικές ιδιότητες του οστού

Φόρτιση (loading): είναι η εφαρμογή τάσεων (δυνάμεων) στο οστό.

Παραμόρφωση (strain): ορίζεται ως το πηλίκο της μεταβολής του μήκους ενός οστού (ύστερα από την εφαρμογή κάποιας τάσης) διαιρούμενο με το αρχικό του μήκος.

Μηχανικές ιδιότητες του οστού

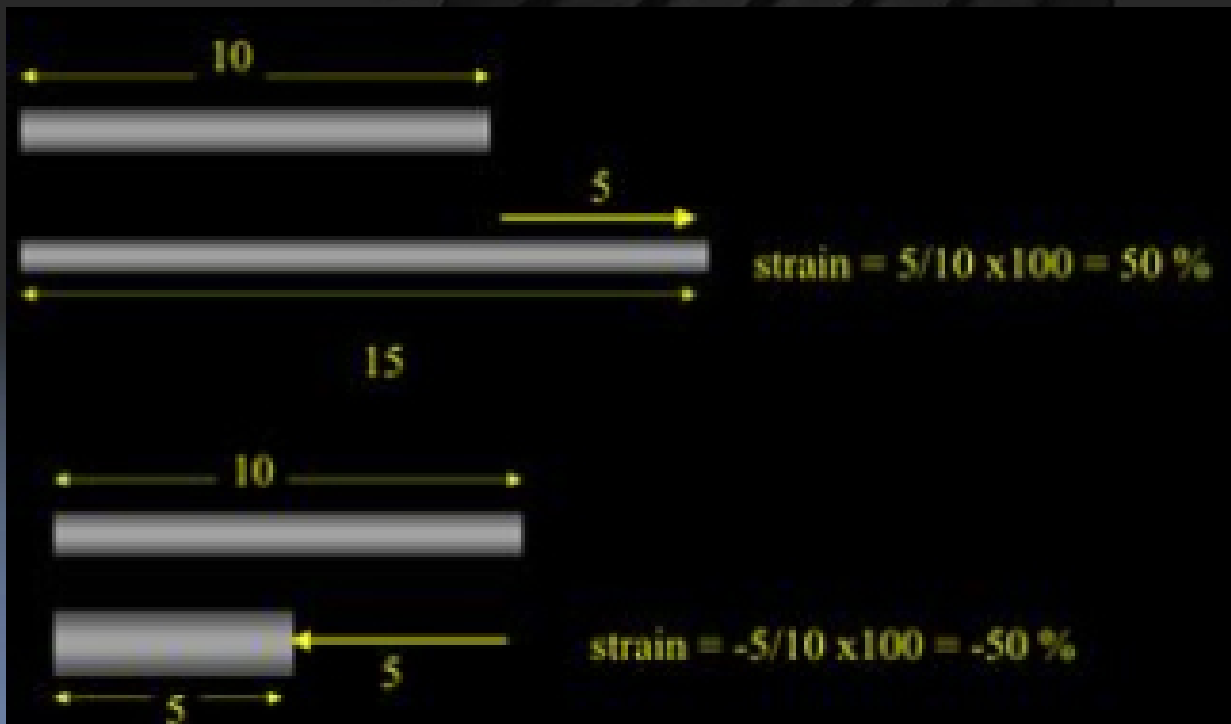
Παραμόρφωση

101% του αρχικού μήκους = παραμόρφωση 0,01 ή 1%

- Δεν έχει μονάδα μέτρησης και καταγράφεται ως σχετική παραμόρφωση 0,01 ή 1%
- Μπορεί να καταγραφεί ως μstrain : $10.000 \mu\text{strain} = 0,01 \text{ strain} = 1\% \text{ παραμόρφωση}$

Μηχανικές ιδιότητες του οστού

Παραμόρφωση



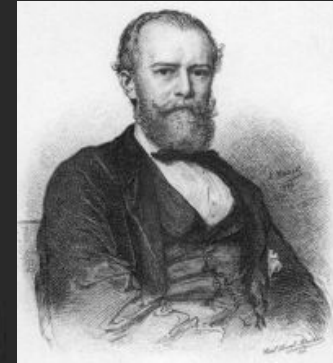
Η αντίδραση του οστού στις δυνάμεις

Το οστό λειτουργεί σε ένα εύρος παραμόρφωσης της τάξης των 50 – 3000 μstrain .

Συνεχείς μικρότερες φορτίσεις προκαλούν ατροφία ενώ συνεχείς υψηλότερες προκαλούν ιστική κόπωση (fatigue failure ή tissue fatigue)

Η αντίδραση του οστού στις δυνάμεις

Νόμος του Wolff (1892)



«Κάθε αλλαγή στη μορφή και στη λειτουργία ή μόνο στη λειτουργία του οστού προκαλεί καθορισμένες αλλαγές στην εσωτερική αρχιτεκτονική και εξίσου καθορισμένες μεταβολές στην εξωτερική του μορφολογία, οι οποίες ακολουθούν μαθηματικούς νόμους»

Η αντίδραση του οστού στις δυνάμεις

«Ο νόμος του Wolff είναι περισσότερο μια λογική ακολουθία, παρά νόμος, καθώς δεν εξηγεί πώς προκαλούνται αυτές οι αλλαγές στην αρχιτεκτονική, τη δομή και τη μορφολογία του οστού»

Frost 1994

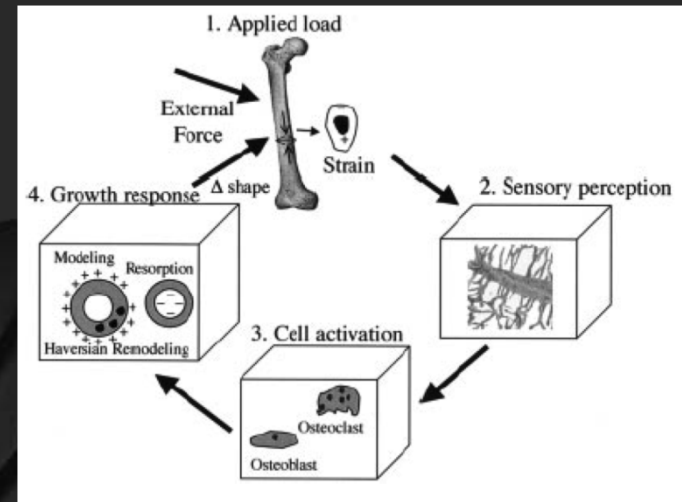
Η αντίδραση του οστού στις δυνάμεις

Μεγαλύτερη επίδραση έχει σε ένα οστό – και συνεπώς στους βιολογικούς του μηχανισμούς – η ένταση παρά η συχνότητα της τάσης.



Η αντίδραση του οστού στις δυνάμεις

Ο «μηχανοστάτης» του οστού



Το οστό έχει ένα μηχανοστατικό ελεγκτικό σύστημα που διατηρεί σταθερό το εμβιομηχανικό περιβάλλον των οστικών κυττάρων όταν επιφέρονται μεταβολές στις εξωτερικές μηχανικές τάσεις. Η οστική αναδόμηση, όμως, θα ξεκινήσει πέραν μιας οριακής τιμής παραμόρφωσης.

Η αντίδραση του οστού στις δυνάμεις

Η λειτουργία του μηχανοστατικού ελεγκτικού συστήματος επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους:

- Ένταση δύναμης
- Διάρκεια δύναμης
- Βιολογική δομή του οστού

Υπάρχει πραγματικά μηχανοστατικό σύστημα και, εάν ναι, πως λειτουργεί;

Η αντίδραση των οστικών κυττάρων στις δυνάμεις

Είναι άγνωστα τα αποτελέσματα της εφαρμογής των δυνάμεων σε κυτταρικό επίπεδο:

- Πως διαφοροποιούν τα κύτταρα τη λειτουργία τους κατά την επίδραση των δυνάμεων;
- Πως μεταδίδεται το ερέθισμα και πως αυτό μετατρέπεται σε βιολογικό;
- Πως συνδιαλέγονται τα κύτταρα μεταξύ τους;

Η αντίδραση των οστικών κυττάρων στις δυνάμεις

- Τα οστεοκύτταρα είναι εξοπλισμένα με ορμονικούς υποδοχείς

Van der Plas et al 1994, Braidman et al 1995

- Δημιουργία ιοντικής ροής με ηλεκτρικό δυναμικό

Cowin et al 1987

- Διακαναλική υδραυλική ροή (canalicular fluid flow hypothesis)

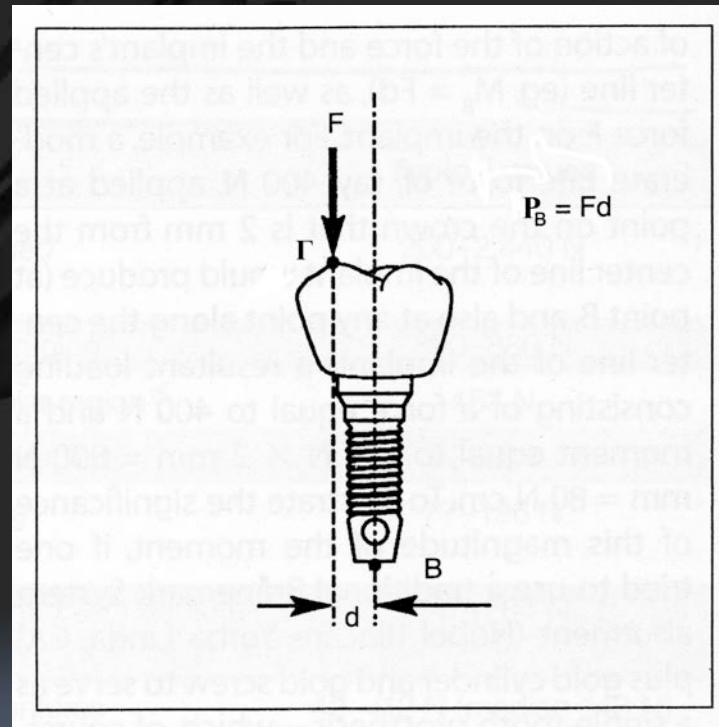
Cowin et al 1991, Marotti 2000

Παράγοντες που επηρεάζουν την οστεοενσωμάτωση

- Βιοσυμβατότητα του υλικού
- Σχήμα του εμφυτεύματος
- Επιφάνεια του εμφυτεύματος
- Κατάσταση του μητρικού οστού
- Χειρουργική τεχνική
- Συνθήκες φόρτισης

Χαρακτηριστικά
εμφυτεύματος

Εμβιομηχανική της οστεοενσωμάτωσης



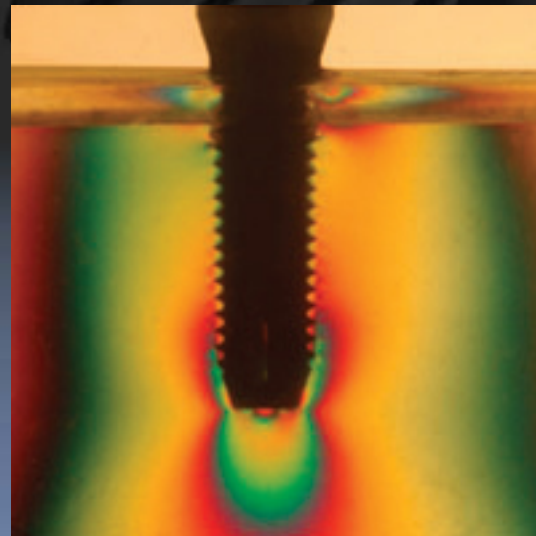
Δυνάμεις και ροπές

$$P_B = Fd$$

$$F = 300 \text{ N}, d = 3 \text{ mm} \rightarrow P_B = 90 \text{ Ncm}$$

Εμβιομηχανική της οστεοενσωμάτωσης

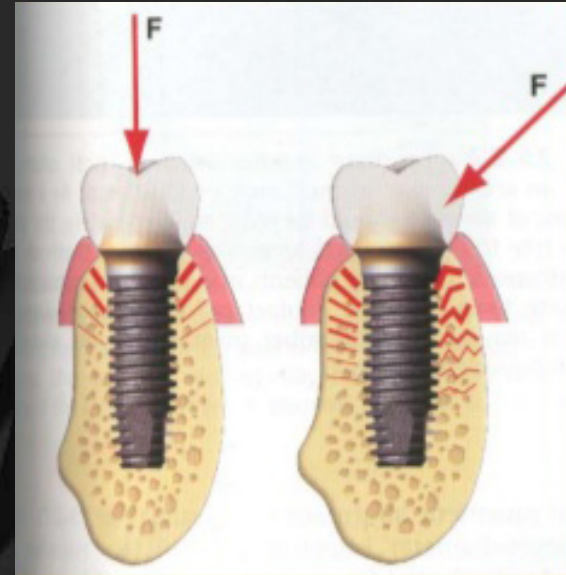
Όταν δύο υλικά διαφορετικού βαθμού ελαστικότητας έρχονται σε άμεση επαφή και στο ένα ασκείται μηχανική φόρτιση τότε η μέγιστη παραμόρφωση θα εμφανιστεί στην περιοχή της πρώτης επαφής των δύο υλικών.



Akca et al 2008

Είδη δυνάμεων

- Δυνάμεις αξονικές
- Δυνάμεις πλάγιες

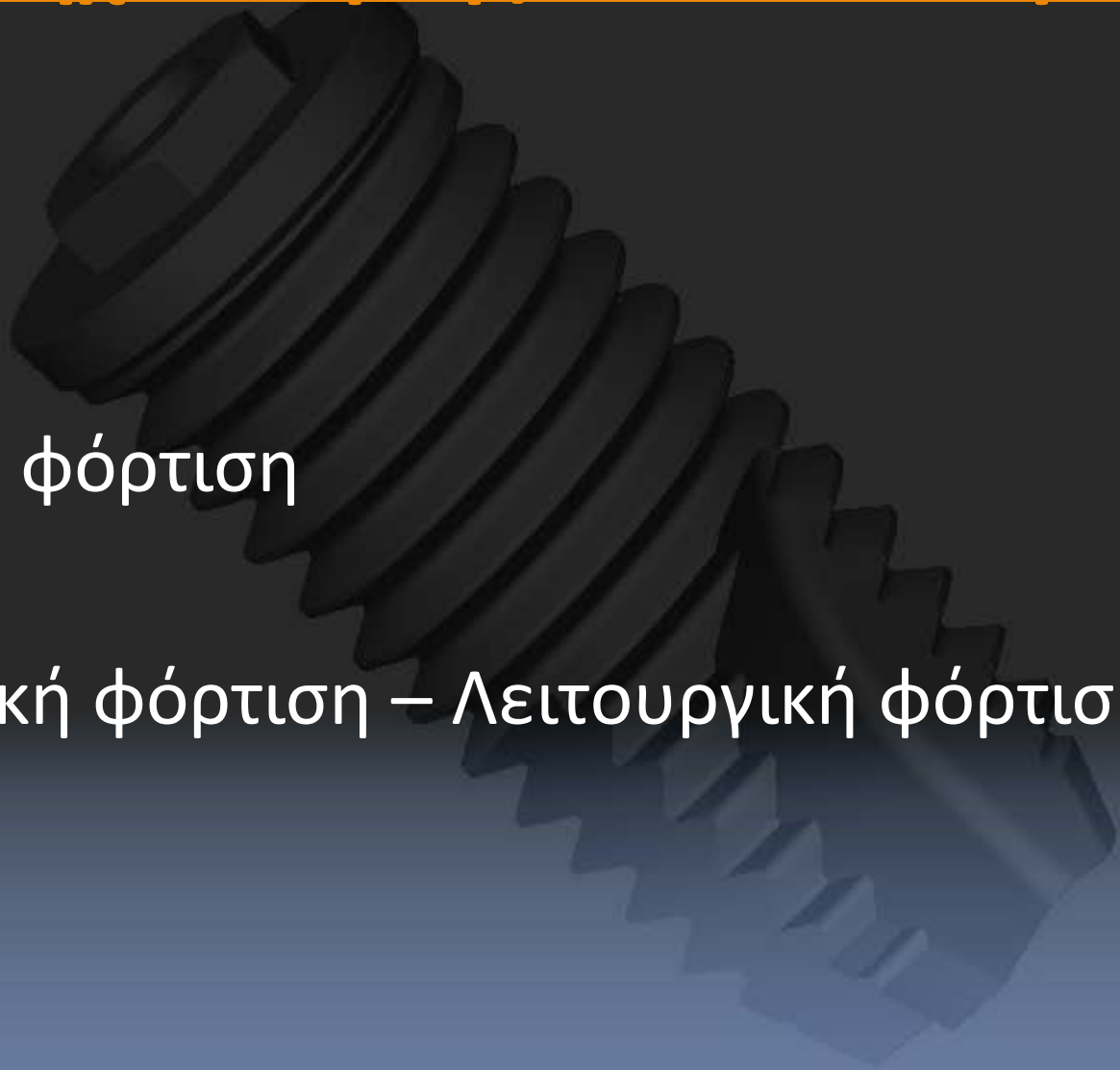


Οι πλάγιες φορτίσεις θεωρούνται οι πιο επικίνδυνες.

*Misch and Bidez 1994, Brunski et al 2000,
Akca et al 2008, Kitamura et al 2005*

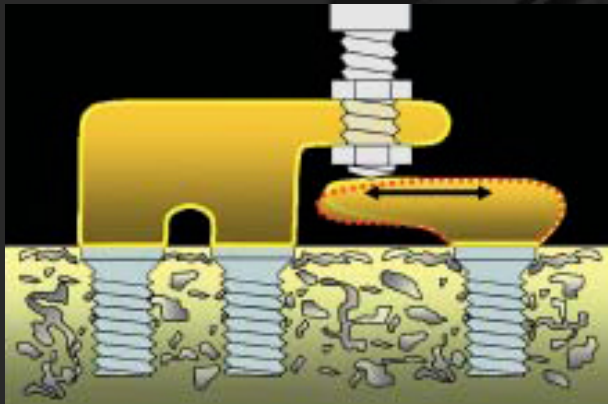
Εμβιομηχανική της οστεοενσωμάτωσης

- Στατική φόρτιση
- Δυναμική φόρτιση – Λειτουργική φόρτιση

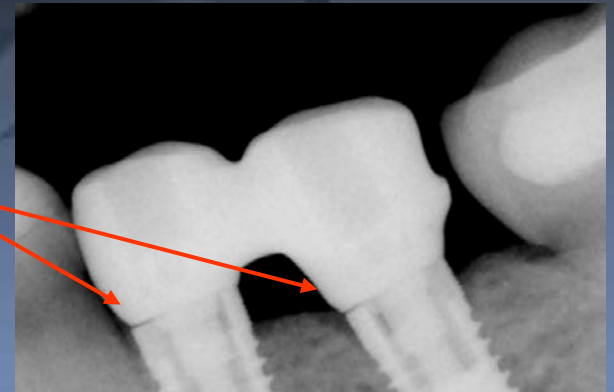


Είδη φορτίσεων

Στατική φόρτιση: σταθερή φορά και ένταση



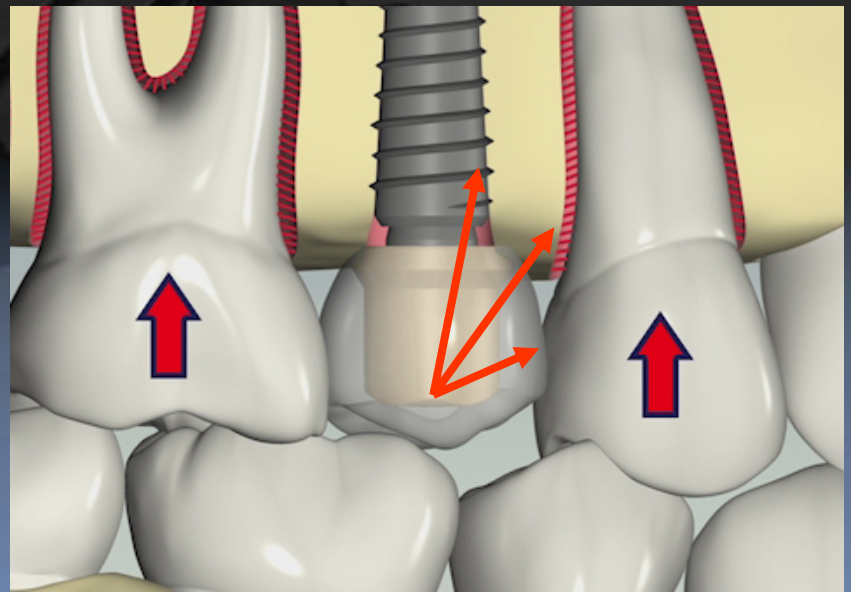
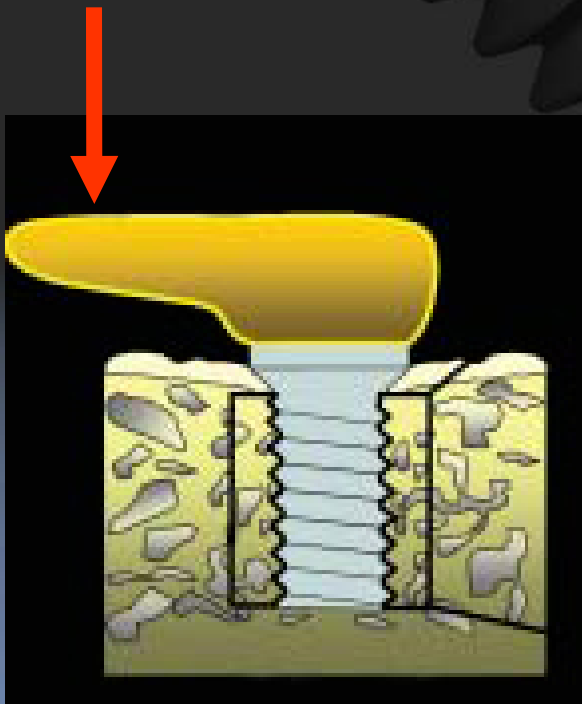
Miyamoto et al 2008



Είδη φορτίσεων

Δυναμική φόρτιση – Λειτουργική φόρτιση

Ένταση και φορά που διαφοροποιείται



Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Ο πιο σημαντικός λόγος που γίνεται συζήτηση για την επίδραση της τάσης στο οστό είναι διότι το οστό, όπως κάθε υλικό, θα υποστεί σημαντική βλάβη εάν οι δυνάμεις, και κατ' επέκταση οι παραμορφώσεις, ξεπεράσουν κάποια όρια στη συγκεκριμένη περιοχή.

Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Η αντίδραση του οστού στις εξωτερικές δυνάμεις κατά τη φάση επούλωσης είναι διαφορετική από την αντίδραση και την προσαρμογή του οστού μετά από την επίτευξη της οστεοενσωμάτωσης.

Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Τόσο ο νόμος του Wolff όσο και το μεγαλύτερο μέρος των μελετών που διερευνούν την αντίδραση του οστού στη φόρτιση αναφέρονται γενικά στο οστό και όχι σε αυτό γύρω από ένα εμφύτευμα.

Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Στατική φόρτιση

Δεν υπάρχει έρευνα που να καταδεικνύει την απώλεια της οστεοενσωμάτωσης ύστερα από την εφαρμογή στατικής φόρτισης σε εμφυτεύματα.

Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Στατική φόρτιση

Αντιθέτως οι περισσότερες έρευνες αναφέρουν αύξηση της οστικής πυκνότητας γύρω από τα εμφυτεύματα.

Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Δυναμική φόρτιση

Οι έρευνες που εφάρμοσαν δυναμική φόρτιση σε οστεοενσωματωμένα εμφυτεύματα παρουσιάζουν αντικρουόμενα αποτελέσματα.

Γιατί;

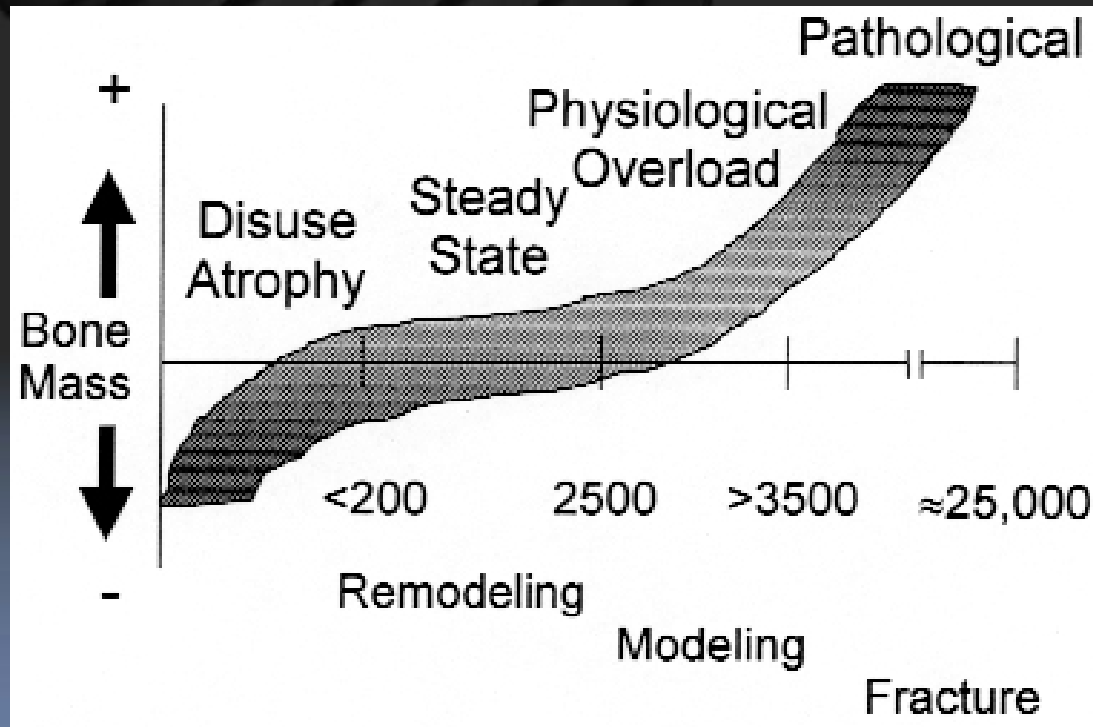
Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Βαθμίδες παραμόρφωσης του οστού από τις δυνάμεις:

- Αχρησία – οστική απορρόφηση
- Φυσιολογική φόρτιση – ομοιόσταση οστού
- Ήπια υπερφόρτιση – αύξηση οστικής μάζας
- Παθολογική υπερφόρτιση – οστικές βλάβες
- Κάταγμα

Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Βαθμίδες παραμόρφωσης του οστού από τις δυνάμεις



Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Δυναμική φόρτιση

Οι έρευνες που εφάρμοσαν δυναμική φόρτιση σε οστεοενσωματωμένα εμφυτεύματα παρουσιάζουν αντικρουόμενα αποτελέσματα.

Γιατί;

Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Δυναμική φόρτιση

Διότι, όπως και στην κλινική πρακτική, δεν γνωρίζουμε σε ποια κατηγορία παραμόρφωσης εμπίπτει το περι-εμφυτευματικό οστό ύστερα από την εφαρμογή της φόρτισης που εξετάζουμε.

Προσαρμογή του οστού κατά τη φόρτιση του εμφυτεύματος

Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το μέγεθος της παραμόρφωσης που θα υποστεί το περιεμφυτευματικό οστό ύστερα από την εφαρμογή των μασητικών δυνάμεων;

- Οστική πυκνότητα
- Η σταθερότητα του εμφυτεύματος
- Η φύση της εφαρμοζόμενης τάσης

Οστική πυκνότητα

Misch 1993

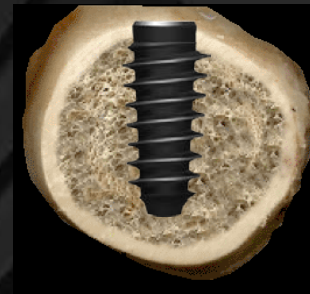
D 1



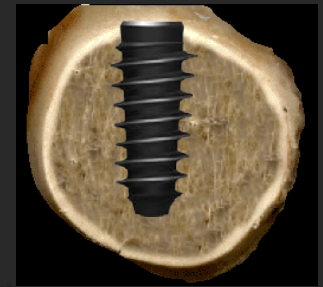
D 2



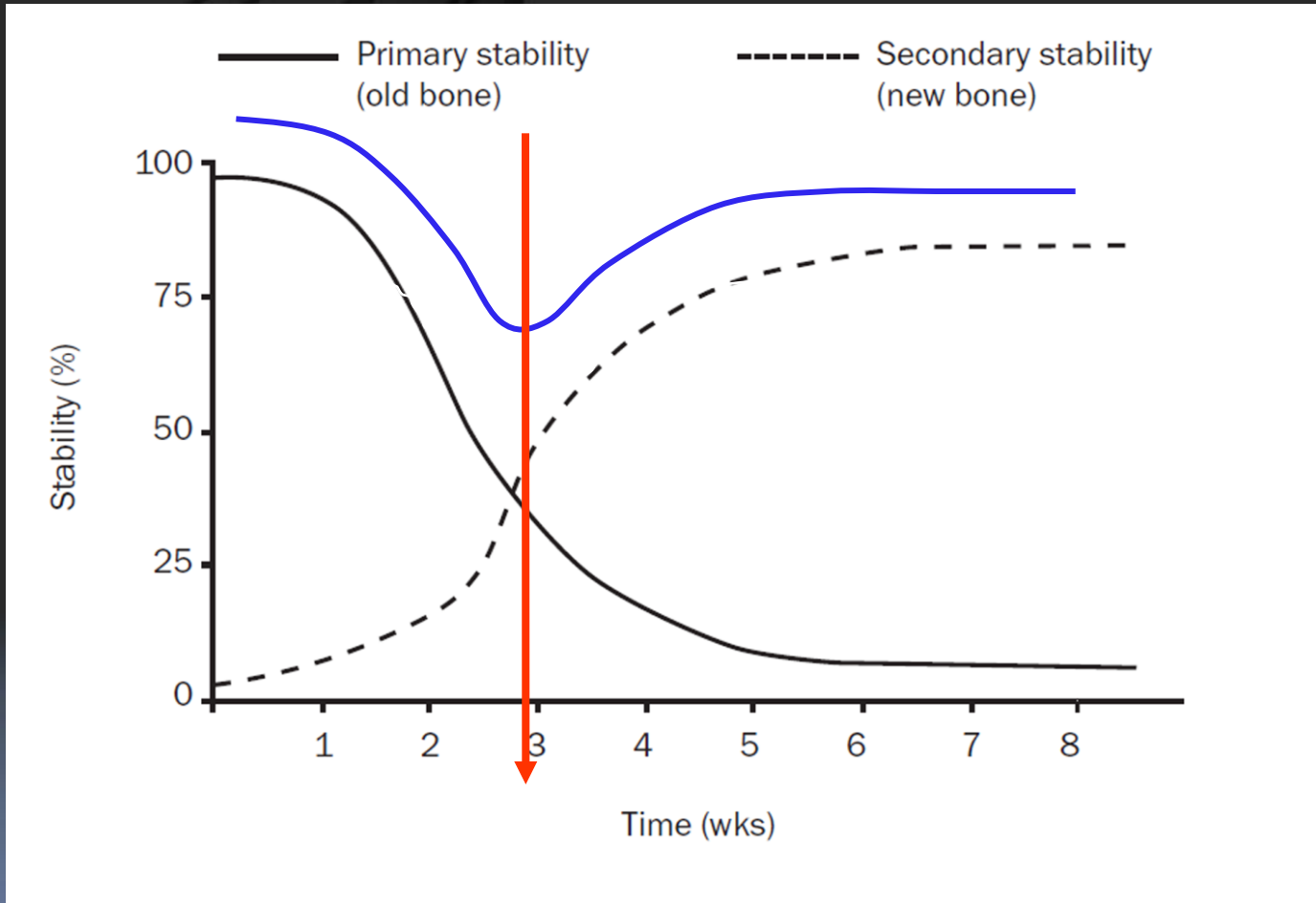
D 3



D 4



Η σταθερότητα του εμφυτεύματος



Μόνο η συνδυαστική καμπύλη υπάρχει πραγματικά.

Η φύση της εφαρμοζόμενης τάσης

Μακρά οστά

300 N



3600 – 4500 μ strain



Παραμόρφωση υπερτροφίας και πιθανώς παθολογίας

Η φύση της εφαρμοζόμενης τάσης

- Η κάθετη δύναμη στο στόμα του ανθρώπου έχει μετρηθεί σε εύρος 200 – 2400 N (Μ.Ο. = 800 N)

van Eijden 1991, Cosme et al 2005

- $2400 \text{ N} = 240 \text{ kg/cm}^2$

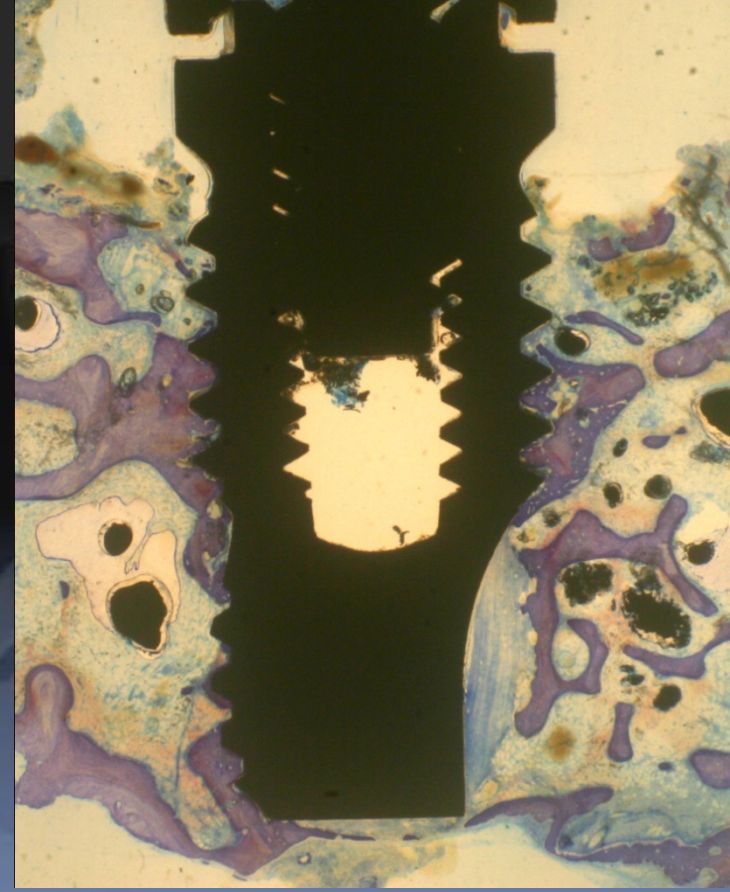


Αν τα 300 N προκαλούν υπερτροφία στα μακρά οστά λόγω υπερφόρτισης, τι θα συμβεί με τα 800 N στο περιεμφυτευματικό οστό;

Πότε ένα εμφύτευμα θεωρείται οστεοενσωματωμένο;



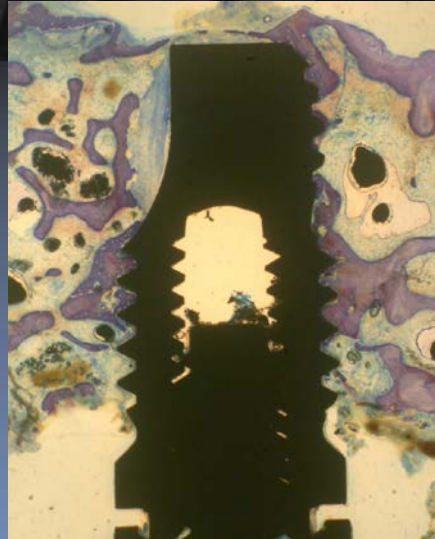
VS



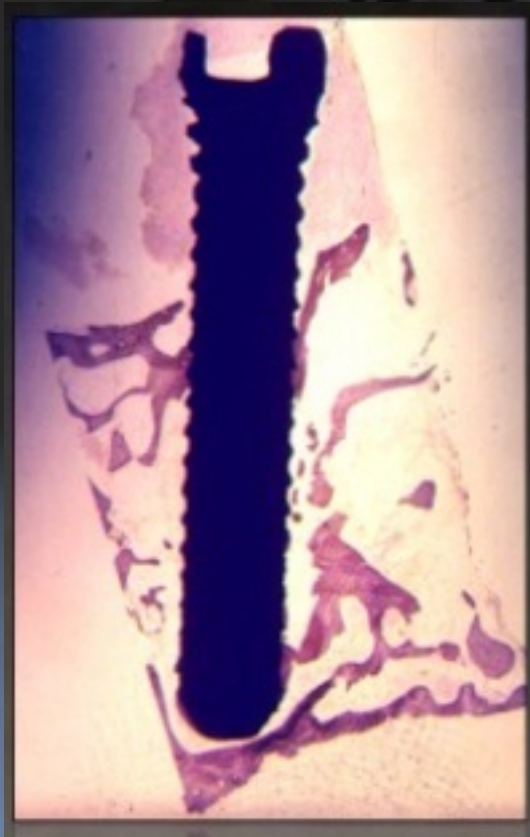
Πότε ένα εμφύτευμα θεωρείται οστεοενσωματωμένο;

Ένα εμφύτευμα είναι δυνατόν να δείχνει κλινικά σταθερό με λιγότερο από 20% της επιφάνειάς του σε επαφή με οστό.

Misch 2006



Πότε ένα εμφύτευμα θεωρείται οστεοενσωματωμένο;



**Είναι ικανό αυτό το
περιεμφυτευματικό οστό
να αντέξει στις
συγκλεισιακές δυνάμεις;**

Αίτια αποτυχίας της οστεοενσωμάτωσης

Αποτυχία εδραίωσης



- Εκτεταμένο τραύμα
- Μικροβιακή μόλυνση
- Πρόωρη φόρτιση

Ρήξη οστεοενσωμάτωσης



- Λοίμωξη ιστών
- Υπερφόρτιση

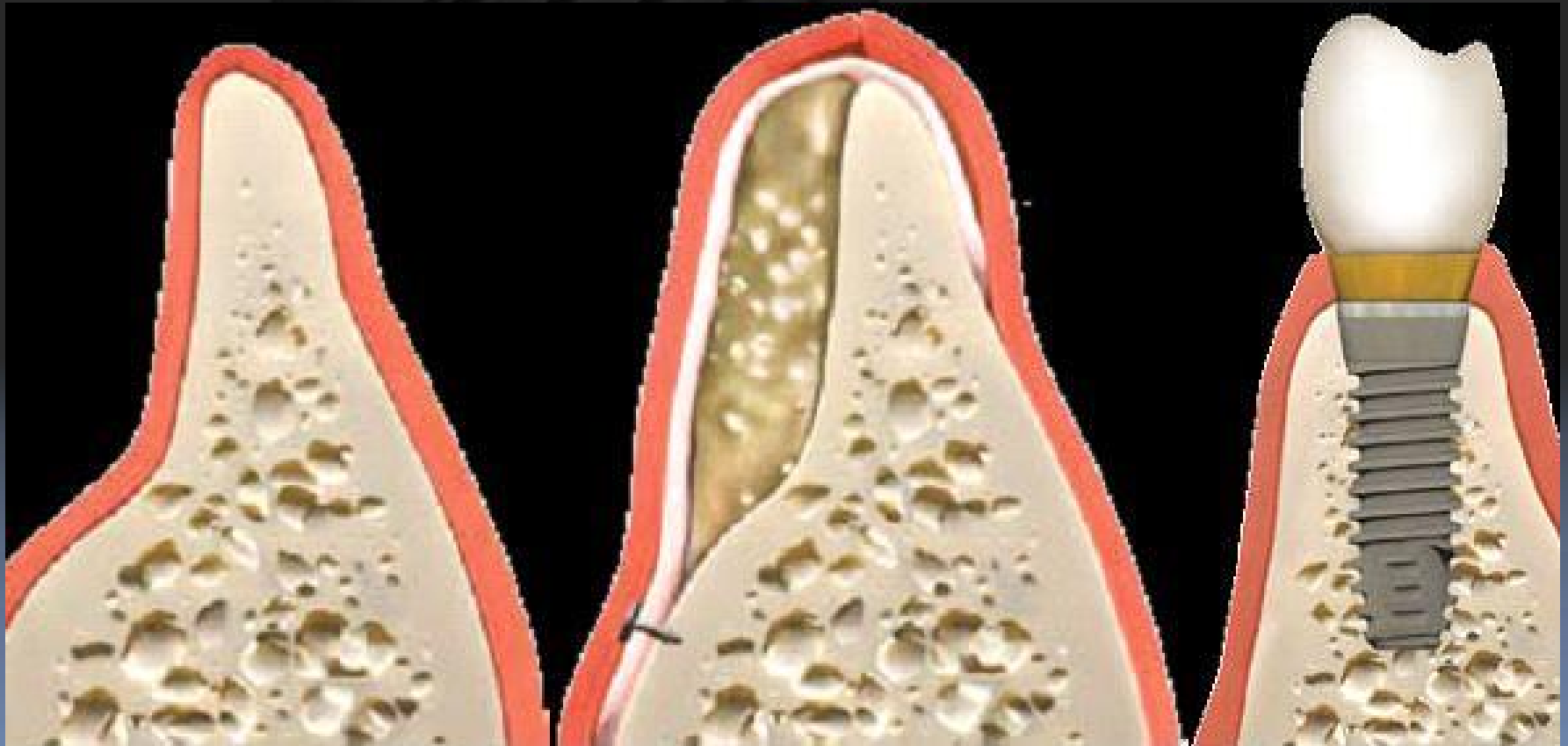
Φόρτιση και εμφύτευμα

Οι συνθήκες φόρτισης επηρεάζουν το περιεμφυτευματικό οστό και κατ' επέκταση:

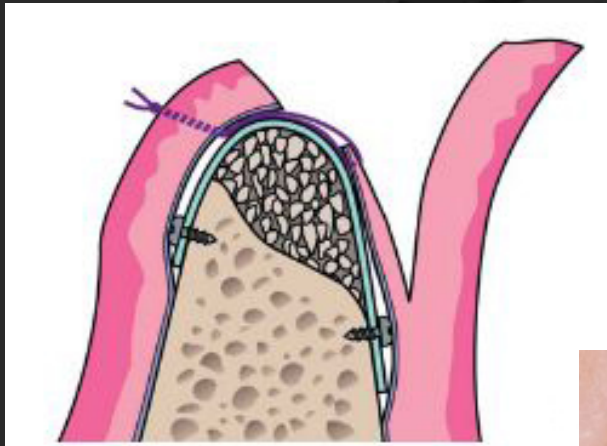
- την εδραίωση της οστεοενσωμάτωσης
- τη διατήρησή της.

Brunski 1999, Stanford and Brand 1999, Isidor 2006

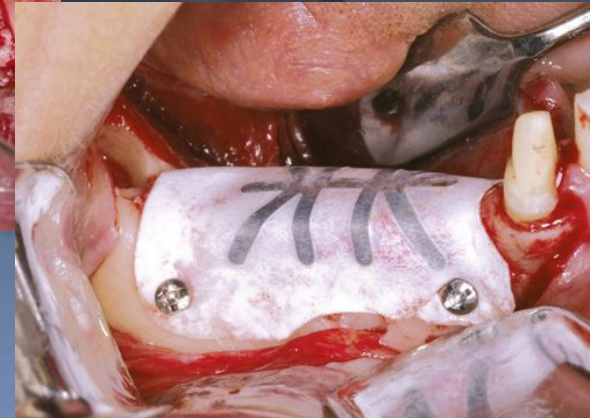
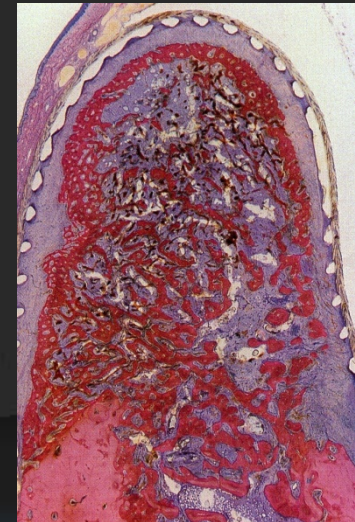
Η επίδραση της φόρτισης στις περιοχές οστικής αναγέννησης



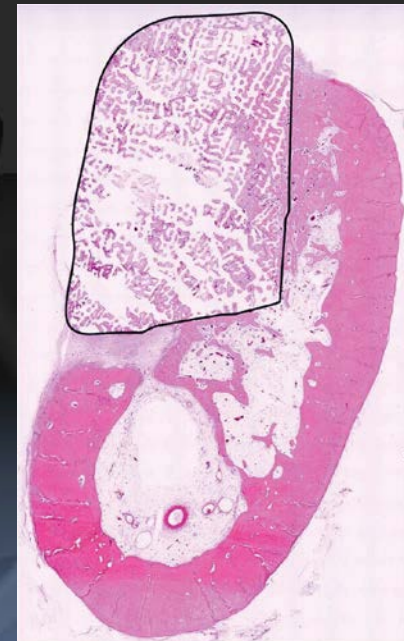
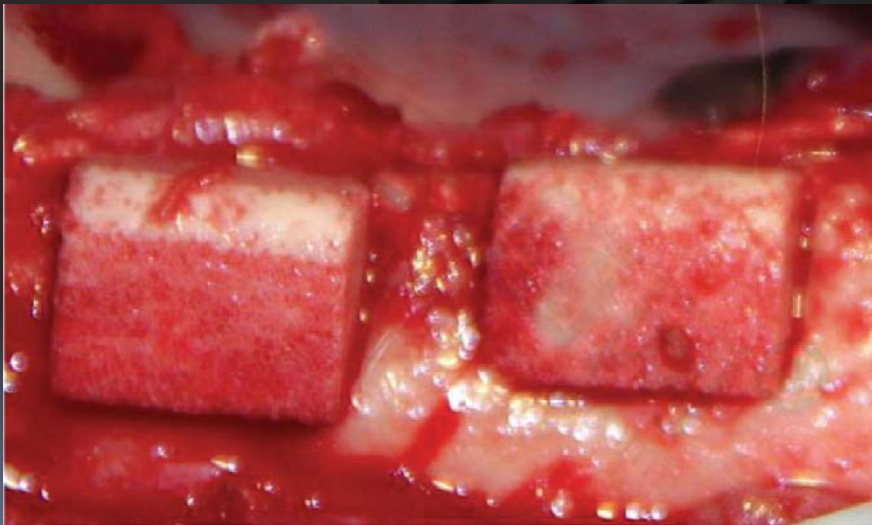
Η επίδραση της φόρτισης στις περιοχές οστικής αναγέννησης



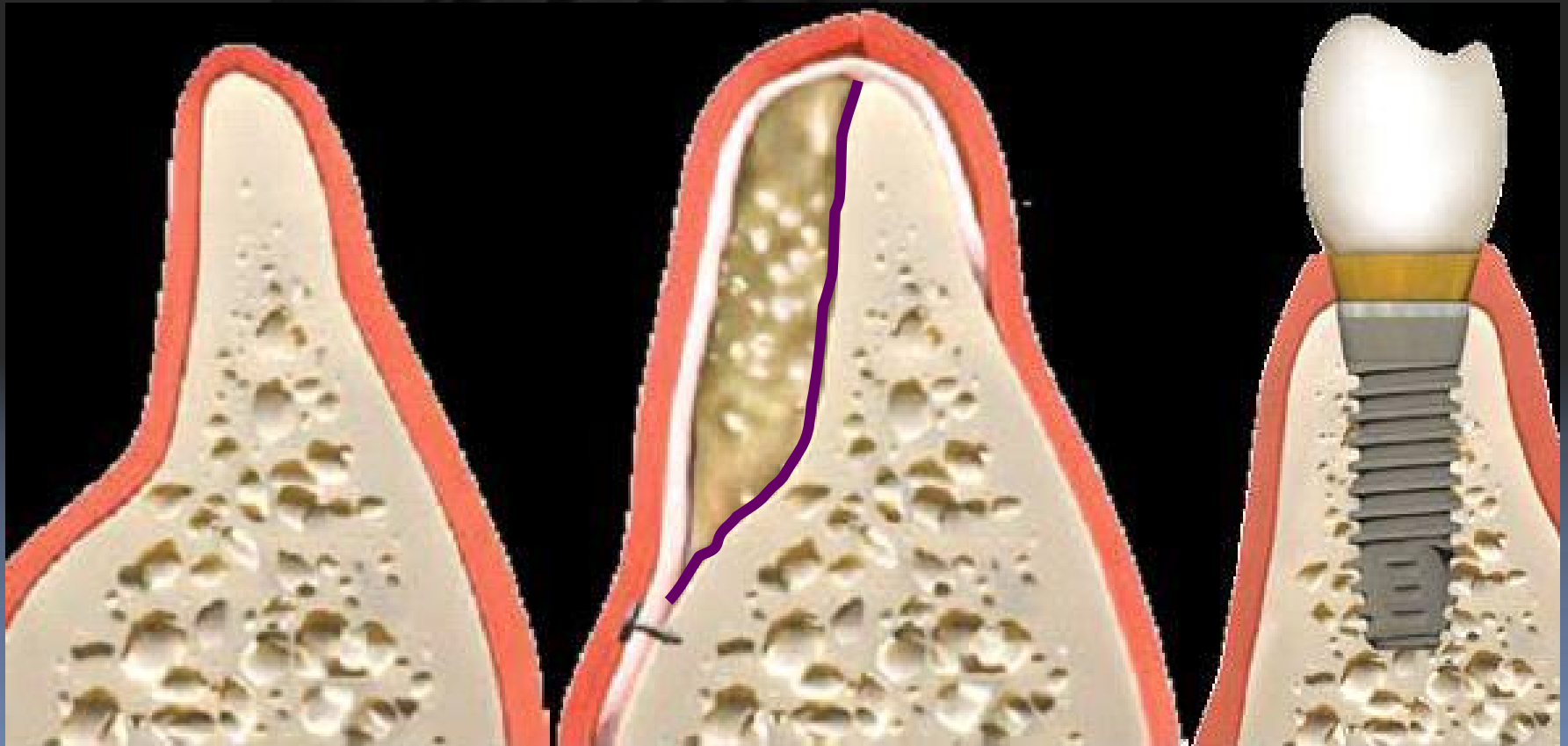
Schenk et al 1994



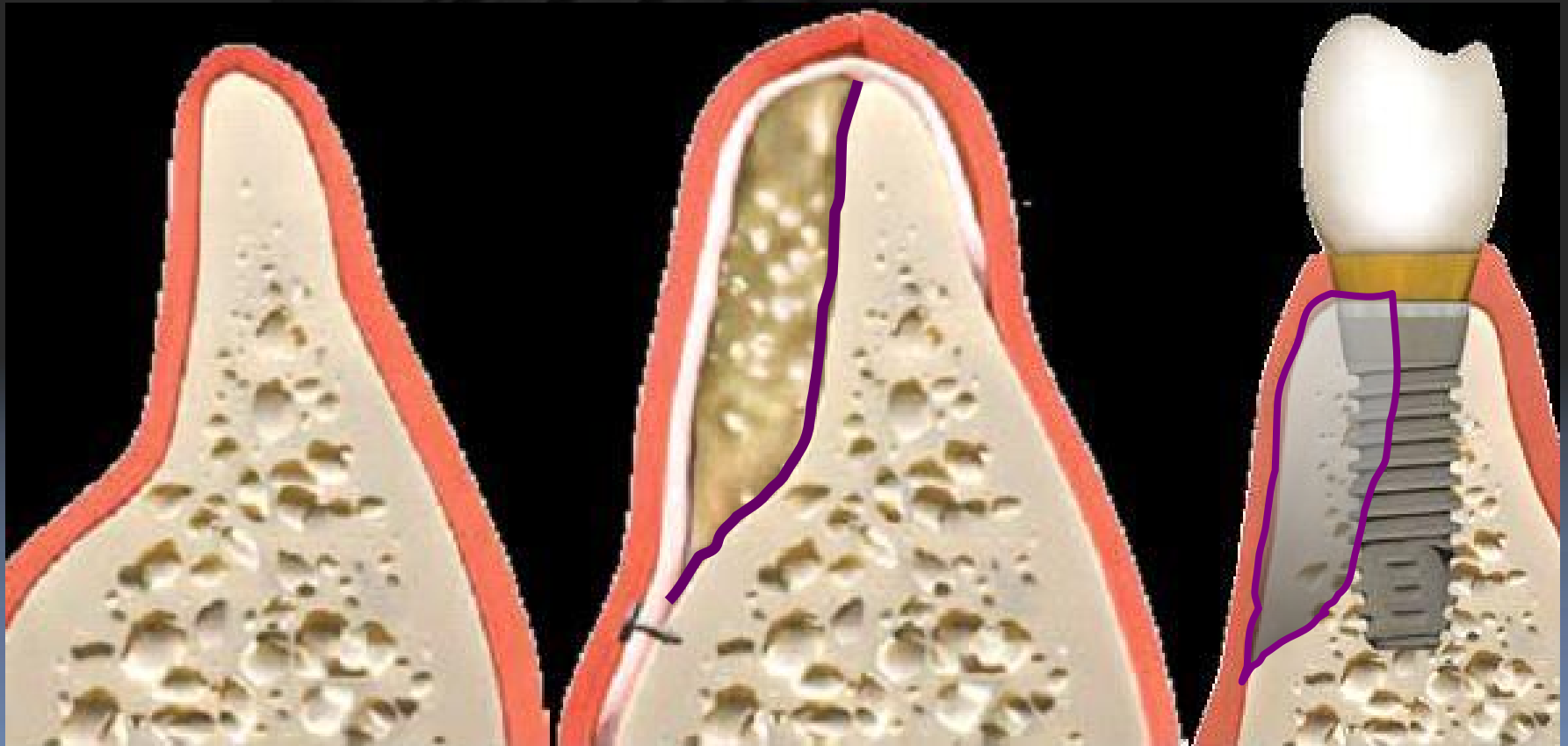
Η επίδραση της φόρτισης στις περιοχές οστικής αναγέννησης



Η επίδραση της φόρτισης στις περιοχές οστικής αναγέννησης



Η επίδραση της φόρτισης στις περιοχές οστικής αναγέννησης



Η επίδραση της φόρτισης στις περιοχές οστικής αναγέννησης

Το ποσοστό επιτυχίας των εμφυτευμάτων που τοποθετούνται σε ακρολοφία που έχει αναγεννηθεί με αυξητική τεχνική είναι παρόμοιο με των εμφυτευμάτων που τοποθετούνται σε πρωτογενή θέση.

Η επίδραση της φόρτισης στις περιοχές οστικής αναγέννησης

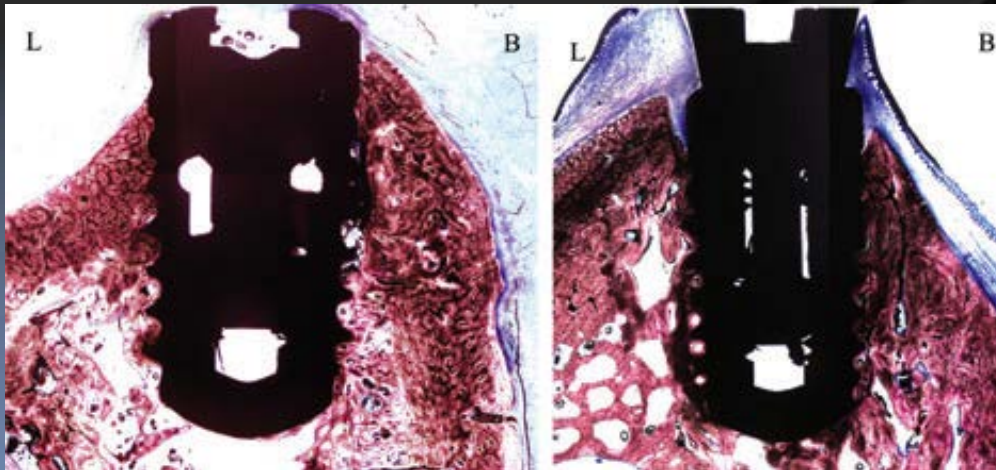
Το πρωτόκολλο τοποθέτησης εμφυτευμάτων συγχρόνως με την διαδικασία αύξησης της φατνιακής ακρολοφίας φαίνεται πως εμφανίζει χαμηλότερο ποσοστό επιτυχίας σε σχέση με την τοποθέτηση ύστερα από την περίοδο ενσωμάτωσης του μοσχεύματος.

Ωστόσο, αναμονή πέραν των 4 – 6 μηνών θα επιφέρει μείωση του όγκου της αναγεννημένης ακρολοφίας εξαιτίας οστικής απορρόφησης.

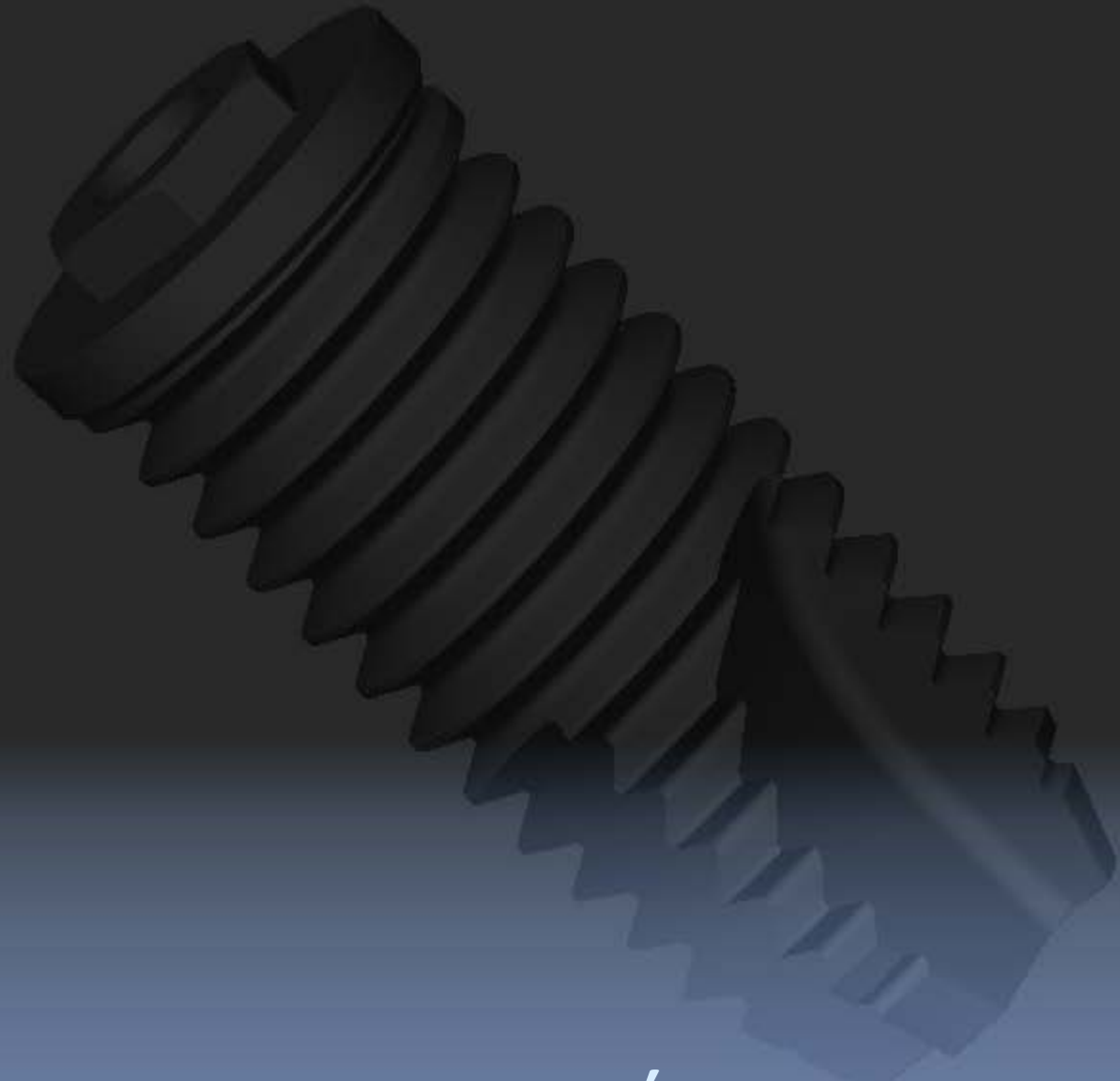
*Chiapasco et al 2009,
Faria et al 2010*

Η επίδραση της φόρτισης στις περιοχές οστικής αναγέννησης

Διαφαίνεται πως η φόρτιση έχει θετική επίδραση στη διεπιφάνεια οστού εμφυτεύματος τόσο στην περίπτωση τοποθέτησης του εμφυτεύματος σε πρωτογενές οστό είτε σε περίπτωση τοποθέτησής του σε αναγεννημένη θέση.



Zambon et al 2008



... σας ευχαριστώ για την προσοχή σας!