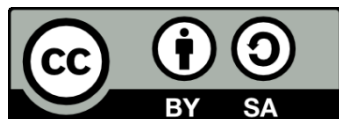




# Βιολογία εμφυτευμάτων

## Ενότητα 3: Οστεοενσωμάτωση

Γεώργιος Μακρής  
Τμήμα Οδοντιατρικής



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Περιεχόμενα ενότητας

1. Οστεοενσωμάτωση
  - i. Ορισμός-Παραδείγματα
  - ii. Ερωτήματα
2. Μορφολογία μαλακών ιστών εμφυτευμάτων
  - i. Βιολογικό εύρος
  - ii. Διαφορές περιοδοντικών και περιεμφυτευματικών ιστών
  - iii. Βιοσυμβατότητα
3. Βιοσυμβατότητα
  - i. Φυσικές ιδιότητες τιτανίου
  - ii. Επιφανειακές ιδιότητες τιτανίου
  - iii. Βιολογική Δράση

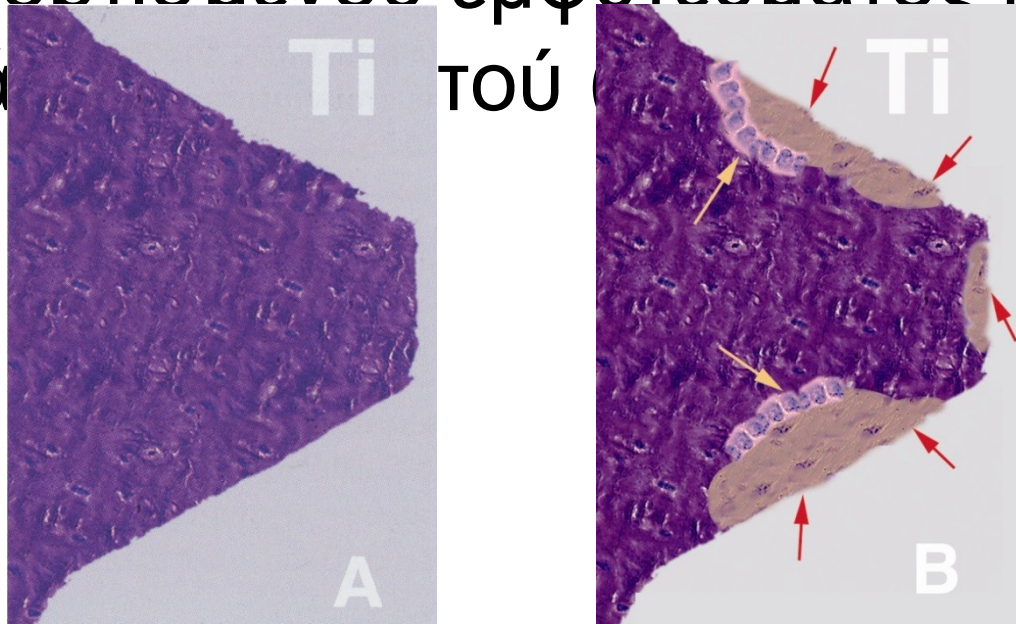




# Τι είναι η οστεοενσωμάτωση;

# Οστεοενσωμάτωση (Osseointegration)

- Ορισμός: άμεση λειτουργική και ανατομική σύνδεση μεταξύ της επιφάνειας ενός φορτισμένου εμφυτεύματος και του περιβάλλοντος οστού (Branemark κ 1985)



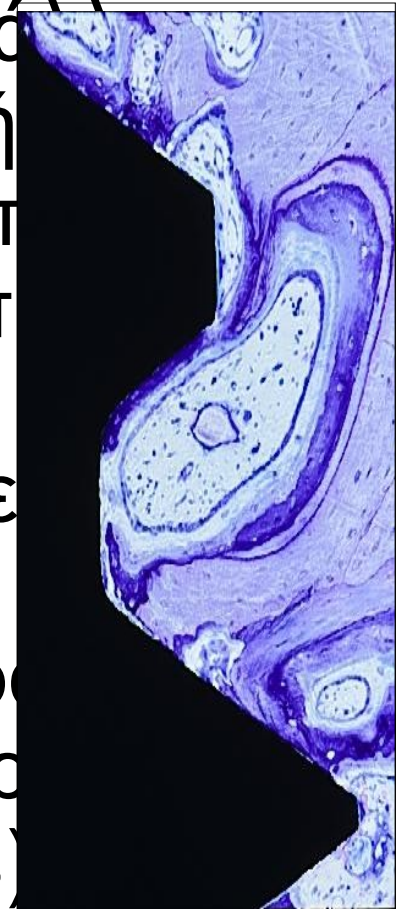
Μορφές οστεοενσωμάτωσης

Το εμφύτευμα στην εικόνα Α είναι οστεοενσωματωμένο κατά 100%. Το σύνολο της επιφάνειάς του σε διαστάσεις οπτικού μικροσκοπίου έρχεται σε άμεση επαφή με το οστόν. Στην εικόνα Β μέρος μόνο της τιτανιοϋχου επιφάνειας είναι οστεοενσωματωμένο. Τα κόκκινα βέλη δηλώνουν περιοχές



# Οστεοενσωμάτωση (Osseointegration)

- Στην πραγματικότητα ήταν μια άτυχη ερευνητική ομάδα με επικεφαλής τον καθηγητή Schroeder του Πανεπιστημίου της Βέρνης στην Ελβετία που απέδειξε ιστολογικά αυτήν την απ'επιφανειακή εναπόθεση οστού στην επιφάνεια εμφυτεύματος. Ο όρος που χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει αυτή τη σχέση ονομάστηκε λειτουργική αγκύλωση (functional ankylosis)



# Οστεοενσωμάτωση (Osseointegration)

- Σύμφωνα με τους Zarb και Albrektsson (1991), η οστεοενσωμάτωση προσδιορίζεται σαν τη σχέση εκείνη που επιτρέπει σε αλλοπλαστικά υλικά να παραμένουν ανένδοτα εντός του οστού κατά τη διάρκεια της λειτουργικής φόρτισης (μάσησης).





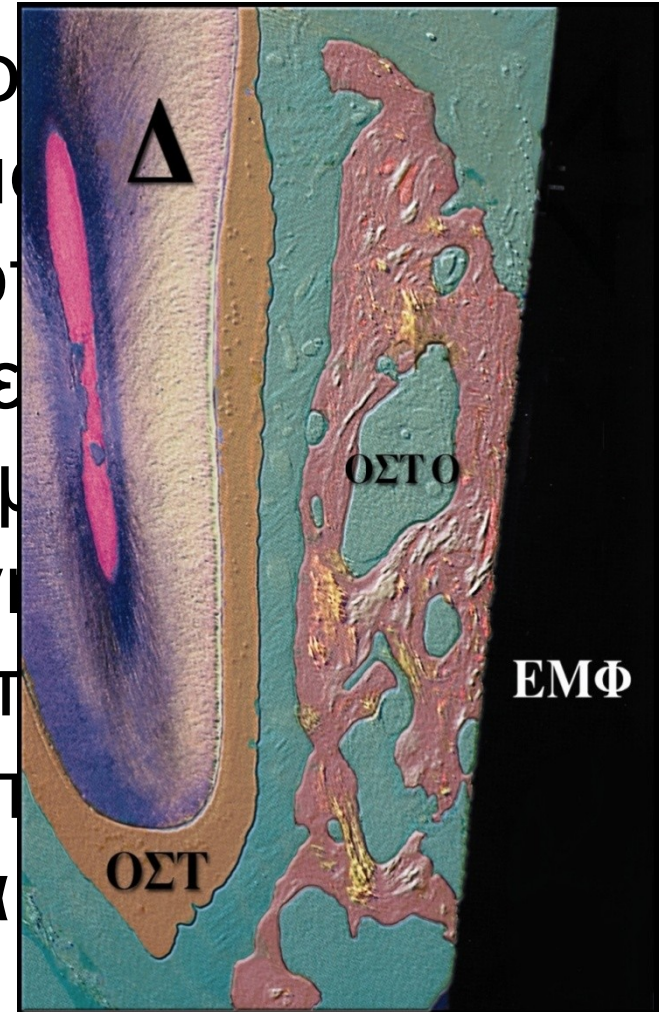
# Οστεοενσωμάτωση (Osseointegration)

- Ο καλύτερος προσδιορισμός της οστεοενσωμάτωσης (Bränemark 1994) αποτελεί μια συνθετική περιγραφή, ειδομένη από διαφορετικές οπτικές γωνίες, του ασθενή, του οπτικού μικροσκοπίου, την εμβιομηχανική και του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου



# Οστεοενσωμάτωση (Osseointegration)

- Σε επίπεδο οπτικού μικροσκοπίου, η ιστολογική εικόνα ενός εμφυτεύματος αφήνει καμία αμφιβολία ότι υπάρχει άμεση επαφή μεταξύ οστού και εμφυτεύματος. Αντιδιαστολή, τα εμφυτεύματα κλινικά παρουσιάζουν κινητικότητα, αλλά περιβάλλονται πάντοτε από συνδετικό ιστό, ο οποίος τερματίζεται από την οστική επιφάνεια.



Σχηματική εικόνα ενός δοντιού παρακείμενου σε εμφύτευμα

Το δόντι (Δ) διαθέτει περιοδοντικό σύνδεσμο (πράσινο χρώμα) που διαχωρίζει και το συνδέει συγχρόνως με το οστόν μέσω της οστεΐνης. Προσπλείως το εμφύτευμα συνδέεται σε άμεση

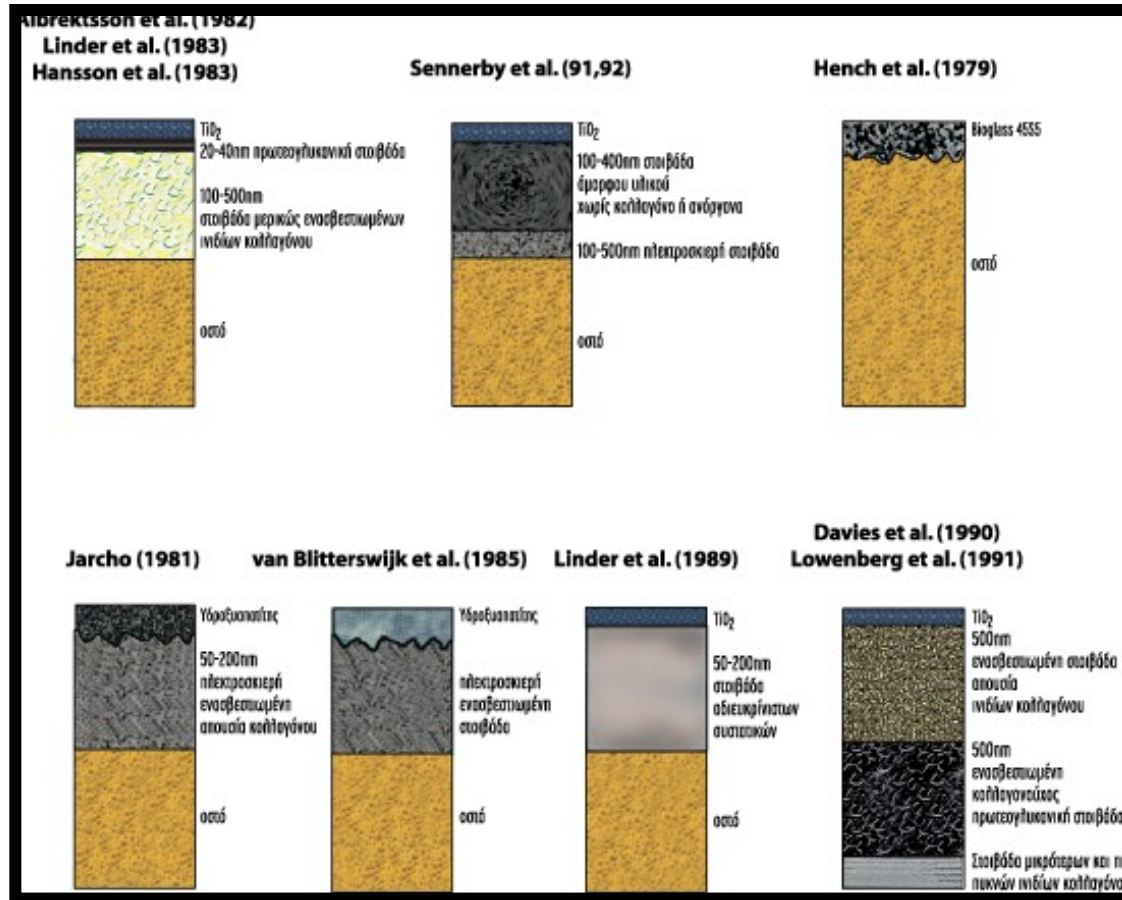


# Οστεοενσωμάτωση (Osseointegration)

- Οι περιγραφές του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου αφορούν το μικρό χώρο αφ' ενός μεταξύ της ζώνης του που δημιουργείται αυτόματα στην επιφάνεια κάθε εμφυτεύματος και αφ' ετέρου του οστού που περιβάλλει το εμφύτευμα. Το εύρος αυτού του χώρου έχει διαστάσεις από 50 έως 1000 nm. Δεν έχει εικόνα πλήρως ενασβεστωμένου οστού και η περιεκτικότητα σε κολλαγόνο, ανόργανα και πρωτεογλυκάνες ποικίλει



# Οστεοενσωμάτωση (Osseointegration)



Περιγραφές οστεοενσωμάτωσης σε επίπεδο ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.

Σχηματική παρουσίαση περιγραφών λεπτής υφής οστεοενσωμάτωσης σύμφωνα με τους ερευνητές που αναφέρονται στην κορυφή κάθε στήλης. Διαφάνεται η ποικιλία των σχετικών περιγραφών ως προς τη νανομετρική απόσταση που χωρίζει το οστόύν από την επιφάνεια του εμφυτεύματος ( τροποποιημένο από Albrektsson και συν. 1994)

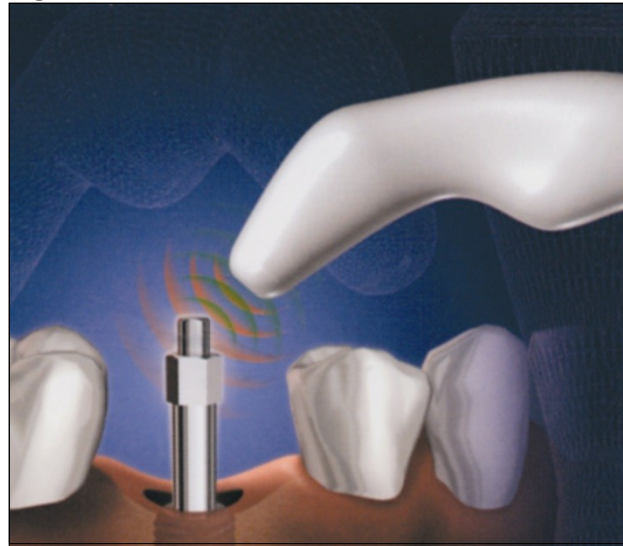
# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

- Ποια είναι η έκταση της οστεοενσωμάτωσης σ' ένα συγκεκριμένο εμφύτευμα;
- Διάφοροι παράγοντες, μπορεί να επηρεάσουν την έκταση της οστεοενσωμάτωσης. όπως η οστική ανατομία, ο τρόπος της χειρουργικής επέμβασης. Στην ερώτηση, σε πόσο χρόνο από τη στιγμή της τοποθέτησης θεωρείται οστεοενσωματωμένο ένα εμφύτευμα, δεν μπορούμε να απαντήσουμε



# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

- Μπορεί να μετρηθεί η έκταση της οστεοενσωμάτωσης;
  - Μέθοδος κρούσης ( Periotest )
  - Μέθοδος αντήχησης ( resonance frequency

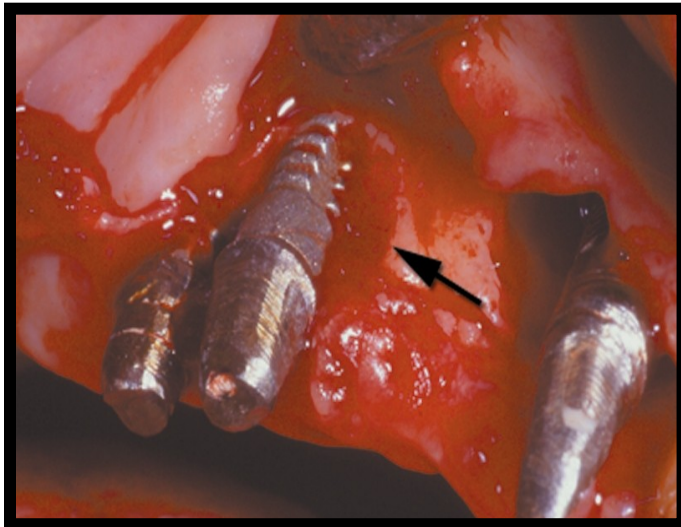


Συσκευή «Osstel»®  
Αποτελεί την εμπορική εφαρμογή της μεθόδου «ανάλυσης συχνότητας αντήχησης» (Resonance Frequency Analysis). Η συσκευή ανιχνεύει και προσδιορίζει τη συχνότητα αντήχησης ενός στοιχείου τοποθετημένου στην κορυφή εμφυτεύματος μετά την εκπομπή μαγνητικών παλμών. Οι λαμβανόμενες τιμές προσδιορίζουν σλυμφωνα με τους κατασκευαστές την έκταση της οστεοενσωμάτωσης και συνεπώς την κατάλληλη χρονική στιγμή για την φόρτιση των εμφυτευμάτων.

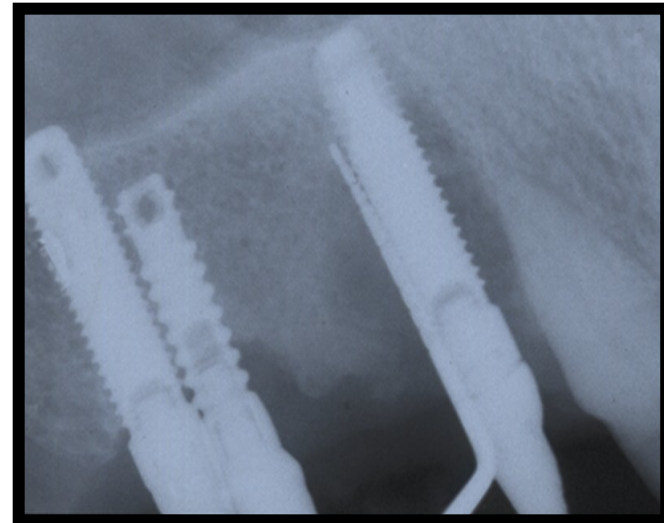


# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

- Η οστεοενσωμάτωση αποτελεί μόνιμη, μη αντιστρεπτή σχέση;
  - Περιεμφυτευματίτιδες
  - Συγκλεισιακό τραύμα



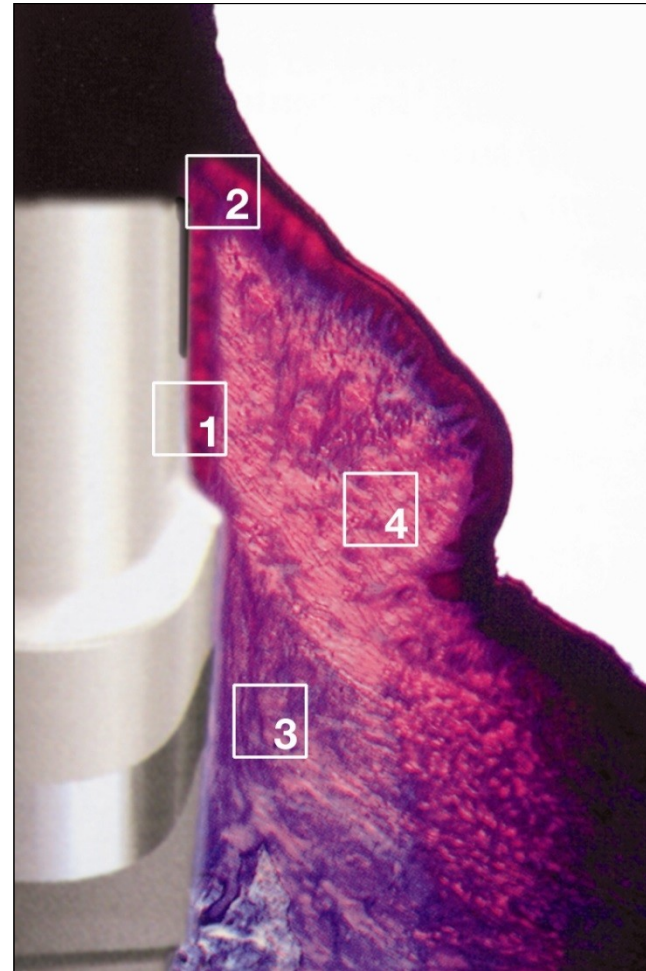
Κλινική εικόνα δύο εμφυτευμάτων. Αποκαλυμμένες σπείρες και εκτεταμένη οστική καταστροφή με μεγάλο εύρος. Το οστικό χείλος σημειώνεται με το βέλος. Εμφανής επίσης η κακή εφαρμογή του μυλικού κολοβώματος.



Ακτινογραφία της άνω δεξιάς περιοχής των εμφυτευμάτων μετά την αφαίρεση της συγκολλούμενης γέφυρας. Με τις κίτρινες ενδείξεις σημειώνονται οι εκτεταμένες αλλοιώσεις. Η τοποθέτηση της επανοδοντικής μύλης (κόκκινο βέλος) καταγράφει την έκταση της απώλειας πρόσφυσης μέχρι τις ακραίες σπείρες του εμφυτεύματος.

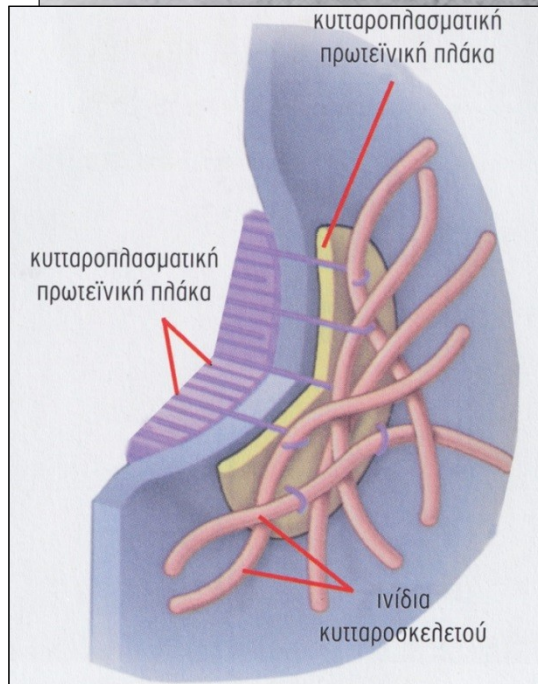
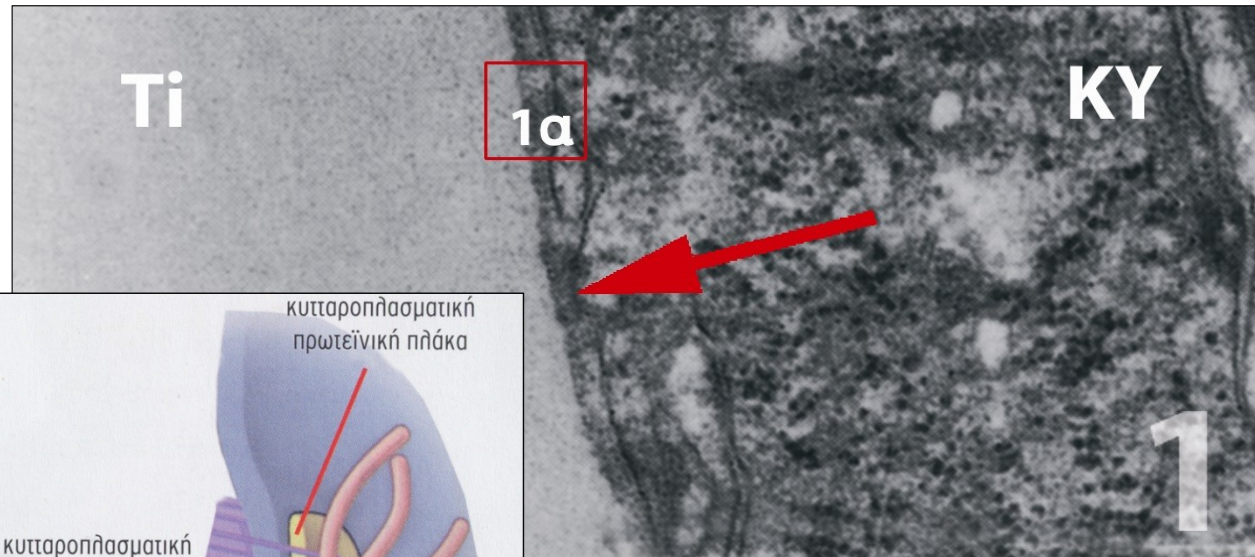
# Μορφολογία μαλακών ιστών εμφυτευμάτων

- Σχηματική αναπαράσταση μορφολογίας περιεμφυτευματικών ιστών.
- Το ενδοοστικό τμήμα του εμφυτεύματος (μαύρη ένδειξη) καλύπτεται από οστούν (λευκή ένδειξη). Κερατινοποιημένο επιθήλιο αναδιπλώνεται στην κορυφή (2) και σχηματίζει τη βλεννογόνοεμφυτευματική σχισμή. Συνεχίζει ακροοριζικότερα η επιθηλιακή σύνδεση (1). Μεταξύ του οστού και του επιθηλίου παρεμβάλλεται συνδετικός ιστός με αραιότερη δομή (4) και ακροοριζικότερα ένας πιο πυκνός συνδετικός με μεγαλύτερο αριθμό ινοβλαστικών κυττάρων (3).





# Μορφολογία μαλακών ιστών εμφυτευμάτων

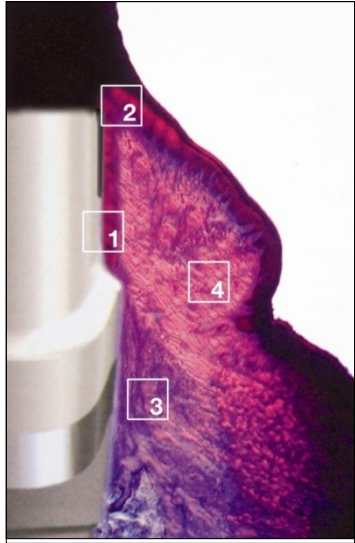


Σχηματική λεπτομέρεια ημιδεσμοσωματίων. Οι συνδετικές πρωτεΐνες συγκρατούν το κύτταρο στην βασική μεμβράνη. Αυτές έχουν διαπεράσει την κυτταρική μεμβράνη και συνδέονται με τα ινίδια του.

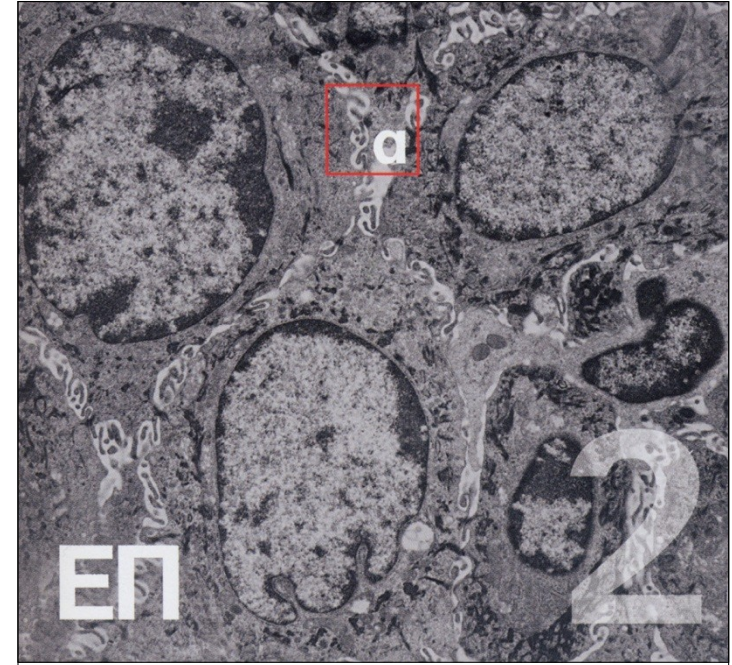
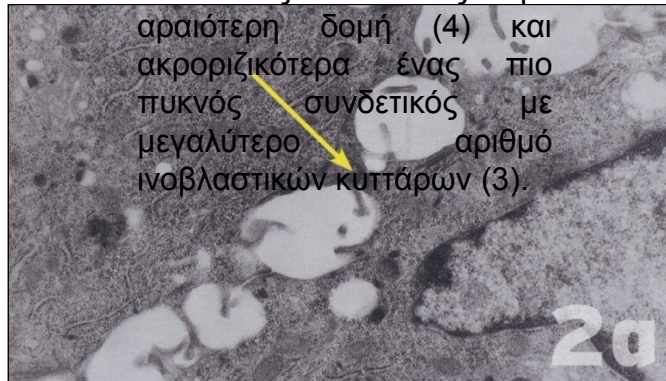
Σχηματική αναπαράσταση λεπτής υψής επιθηλιακού συνδέσμου . Τα επιθηλιακά κύτταρα (ΚΥ) συνδέονται με το τιτάνιο μέσω μιας βασικής μεμβράνης (βέλος) και ημιδεσμοσωματιδίων. Η σύνδεση αυτή είναι παρόμοια με των δοντιών.



# Μορφολογία μαλακών ιστών εμφυτευμάτων



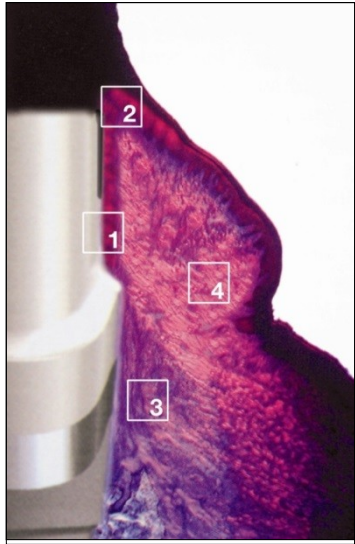
Σχηματική αναπαράσταση μορφολογίας περιεμφυτευματικών ιστών. Το ενδοοστικό τμήμα του εμφυτεύματος (μαύρη ένδειξη) καλύπτεται από οστούν (λευκή ένδειξη). Κερατινοποιημένο επιθήλιο αναδιπλώνεται στην κορυφή (2) και σχηματίζει τη βλεννογόνοεμφυτευματική σχισμή. Συνεχίζει ακροοριζικότερα η επιθηλιακή σύνδεση (1). Μεταξύ του οστού και του επιθηλίου παρεμβάλλεται συνδετικός ιστός με αραιότερη δομή (4) και ακροοριζικότερα ένας πιο πυκνός συνδετικός με μεγαλύτερο αριθμό ινοβλαστικών κυττάρων (3).



Σχηματοποιημένη λεπτή υφή επιθηλιακού ιστού. Επιθηλιακά κύτταρα συνδεδεμένα μεταξύ τους με δεσμοσωμάτια είναι εμφανείς οι πυρήνες των κυττάρων που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα του κυτταροπλάσματος. Στη λεπτομέρεια(τετράγωνο), φαίνονται μια σειρά από δεσμοσωμάτια (κίτρινο βέλος) που ενώνουν δύο παρακείμενα επιθηλιακά κύτταρα (2 α)



# Μορφολογία μαλακών ιστών εμφυτευμάτων

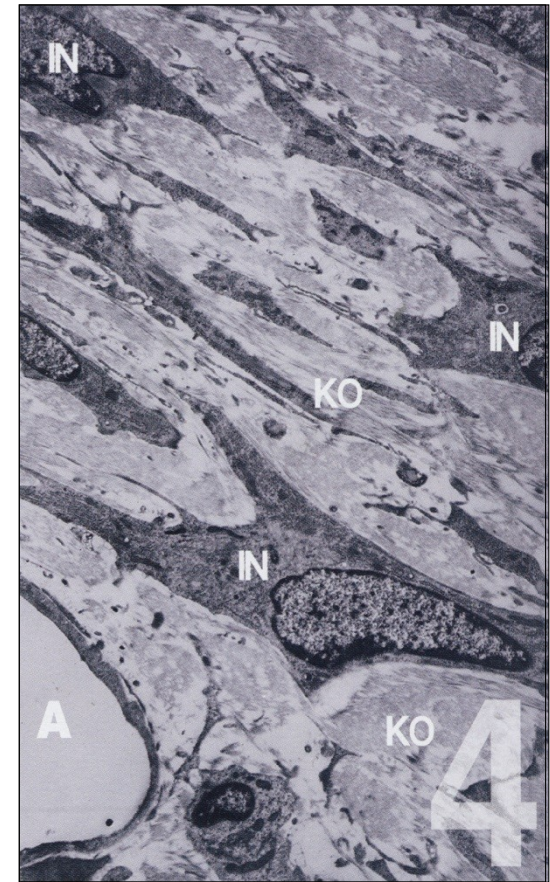


Σχηματική αναπαράσταση μορφολογίας περιεμφυτευματικών ιστών.

Το ενδοοστικό τμήμα του εμφυτεύματος (μαύρη ένδειξη) καλύπτεται από οστών (λευκή ένδειξη).

Κερατινοποιημένο επιθήλιο αναδιπλώνεται στην κορυφή (2) και σχηματίζει τη βλεννογόνοεμφυτευματικ

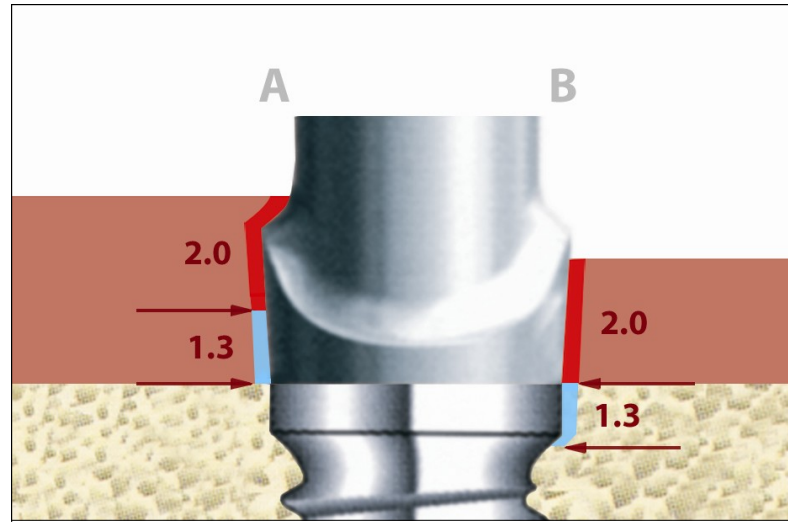
Ο συνδετικός ιστός που περιβάλλει τα εμφυτεύματα, συγκρινόμενος με αυτόν των δοντιών, είναι φτωχός σε κυτταρικά στοιχεία και πλούσιος σε πυκνότητα ινών κολλαγόνου.



Σχηματοποιημένη υφή συνδετικού ιστού μακριά από το εμφύτευμα.

Η μορφολογία προσομοιάζει προς την αντίστοιχη των περιοδοντικών ιστών.

# Βιολογικό εύρος



Οι περιεμφυτευματικοί μαλακοί ιστοί που παρεμβάλλονται μεταξύ του πυθμένα της περιεμφυτευμα-τικής σχισμής και του οστού, παρουσιάζουν μια σταθερή διάσταση περίπου 3 mm. Αυτή η ζώνη θα δημιουργηθεί ακόμη και σε βάρος του υποκείμενου οστού και προσομοιάζει με την έννοια του βιολογικού εύρους των δοντιών.

Σχηματική  
εύρους.  
Το βιολογι  
σταθερή δ  
που περιλ  
επιθηλιο-  
συμπλέγμ  
μεταξύ του  
περιεμφυτ  
οστού. Αυ  
αναπτυχθε  
οστού. Δη  
τοποθετηθ  
οστών , το  
αποκατάσ  
διάστασης  
συνδεσμικ  
απορροφη  
ανάλογα.  
Από την π  
εύρος του  
παρεμβάλ  
και της πε  
είναι αρκε  
3,2 mm το  
πλευρά Β  
μικρότερο  
λόγο προκ  
απορροφη  
αναπτυχθε

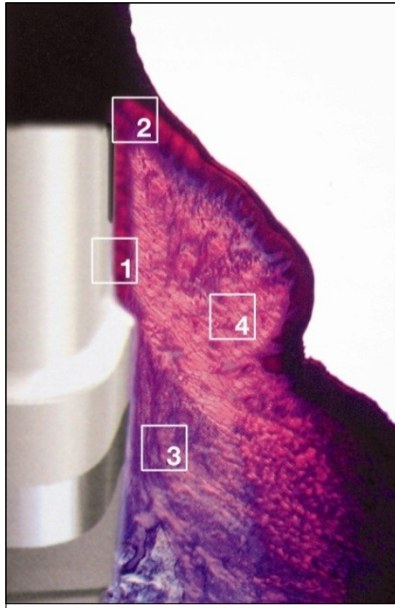


# Διαφορές περιοδοντικών και περιεμφυτευματικών ιστών

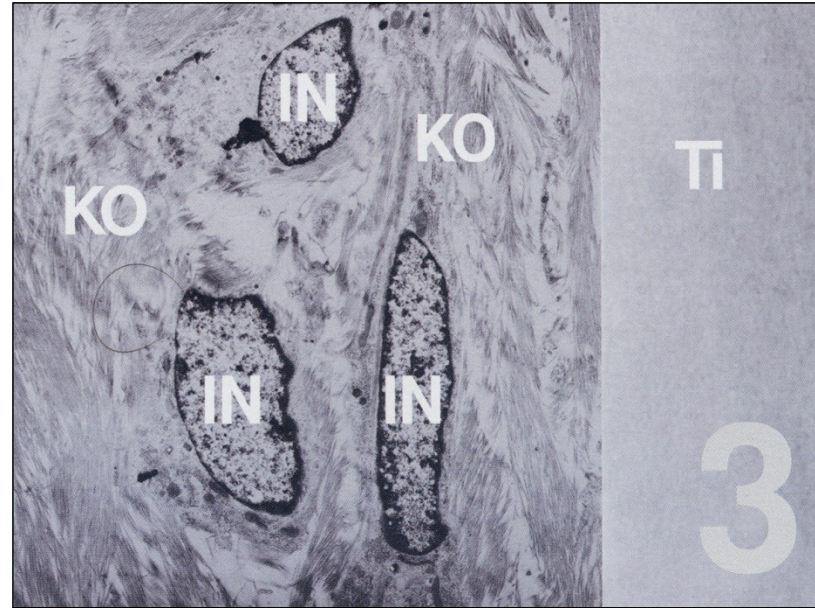
- Η μορφολογία των περιεμφυτευματικών ιστών παρουσιάζει πολλά κοινά στοιχεία με εκείνη των περιοδοντικών ιστών. Περιβάλλονται από κερατινοποιημένο στοματικό επιθήλιο και συνδέονται με ένα προσπεφυκός επιθήλιο το οποίο υποστηρίζεται από μια ζώνη συνδετικού ιστού που συγχρόνως παρεμβάλλεται, διαχωρίζει και προστατεύει το υποκείμενο οστόν.



# Διαφορές περιοδοντικών και περιεμφυτευματικών ιστών



Σχηματική αναπαράσταση μορφολογίας περιεμφυτευματικών ιστών



Σχηματοποιημένη λεπτή υφή συνδετικού ιστού σε επαφή με το εμφύτευμα.

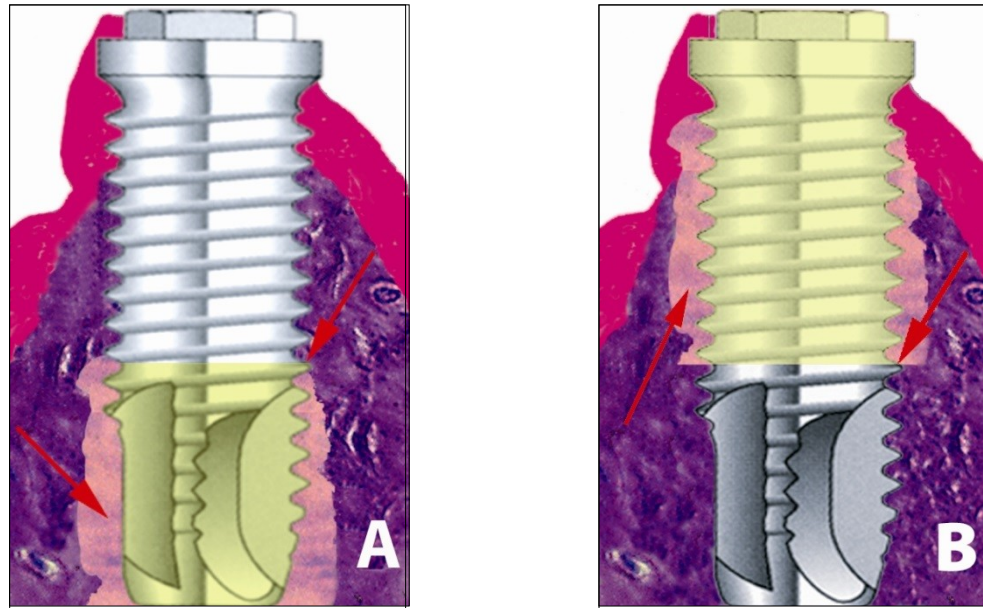
Ινοβλαστικά κύτταρα (IN) ανάμεσα σε ίνες κολλαγόνου (KO) που διατάσσονται παράλληλα με την επιφάνεια του εμφυτεύματος (Ti).

Η διαφοροποίηση μεταξύ δοντιού και εμφυτεύματος είναι ωστόσο εμφανής ως προς τη μορφολογία του συνδετικού ιστού. Στην περίπτωση των εμφυτευμάτων, οι κολλαγόνες ίνες διατάσσονται παράλληλα με την επιφάνεια του εμφυτεύματος (Σχ. 4.3), ενώ στην περίπτωση των δοντιών εισέρχονται στην οστεΐνη.



# Διαφορές περιοδοντικών και περιεμφυτευματικών ιστών

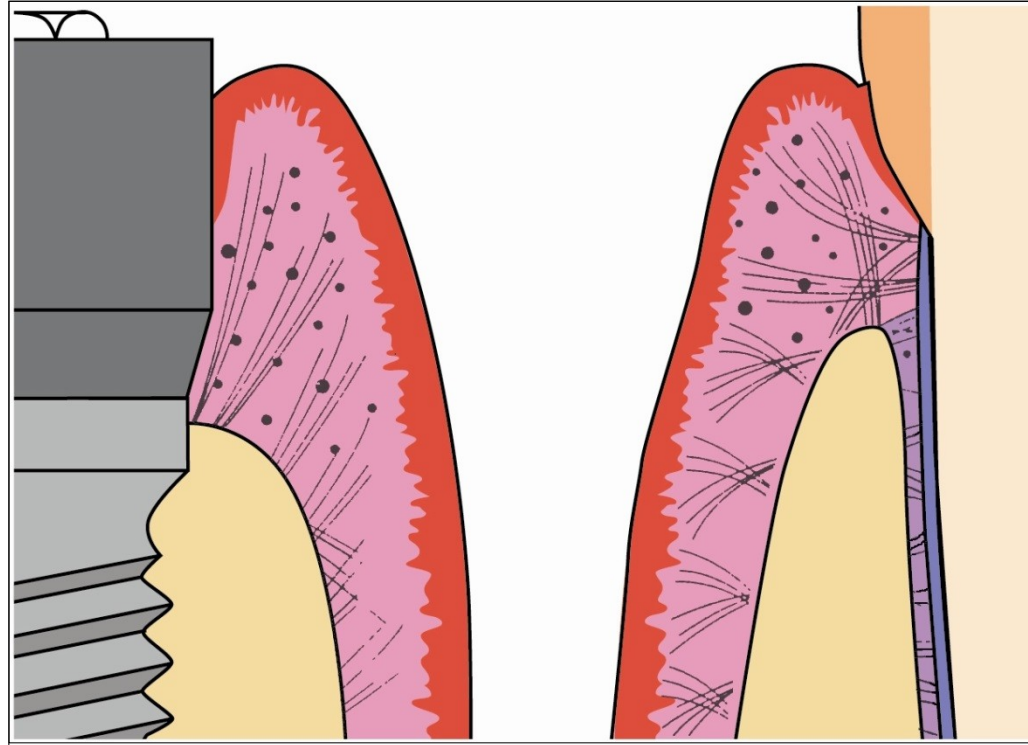
Τα συνδεδεμένα κύτταρα αναγνωρίζουν την τιτανίου επιφάνεια σαν «φιλική» και βιοσυμβατή δημιουργώντας μια ενεργή σύνδεση μαζί της. Σε διαφορετική περίπτωση, τα επιθηλιακά κύτταρα θα συνέχιζαν να μεταναστεύουν κατά μήκος της τιτανίου επιφάνειας. Η οστεοενσωμάτωση δεν θα μπορούσε να είχε επιτευχθεί ποτέ δεδομένου ότι η ταχύτητα μετανάστευσης και πολλαπλασιασμού του επιθηλίου είναι πολύ υψηλότερη, συγκρινόμενη με αυτή των άλλων ιστών.



Στα σχήματα A και B παρουσιάζονται δυο εμφυτεύματα κατασκευασμένα από χρυσό και τιτάνιο. Στο σχήμα A το τιτάνιο αποτελεί το μυλικό του τμήμα ενώ στο σχήμα B αποτελεί το ακροριζικό. Η τοποθέτησή του σε πειραματόζωα απέδειξε την ικανότητα οστεοενσωμάτωσης του τιτανίου και την αδυναμία του χρυσού να οστεοενσωματωθεί, παρά τη χαμηλή ικανότητα διάβρωσης.

Βιολογία Εμφυτευμάτων  
Τμήμα Οδοντιατρικής

# Αιμάτωση



Σχηματική παρουσίαση της αιμάτωσης των περιοδοντικών και περιεμφυτευματικών ιστών.

Στο εμφύτευμα, λόγω της ανυπαρξίας περιοδοντικού συνδέσμου, η αιμάτωση των περιεμφυτευματικών ιστών πραγματοποιείται μόνο από περισσότερα αγγεία που διατρέχουν την εξωτερική επιφάνεια του οστού. Συνεπώς, η αιμάτωση των περιεμφυτευματικών ιστών είναι ελαττωμένη σε σύγκριση με τους περιοδοντικούς ιστούς.

Η αιμάτωση του περιεμφυτευματικού συνδετικού ιστού είναι ελαττωμένη σε σύγκριση με την πλούσια αιμάτωση που παρατηρεί κανείς στο συνδετικό ιστό περιφερειακά της ρίζας του δοντιού.





# Βιοσυμβατότητα

- Κάθε ξένο υλικό που εμφυτεύεται στο ανθρώπινο σώμα (εμφύτευμα) εισέρχεται σε ένα ιδιαίτερα δραστικό χημικό περιβάλλον (βιολογικά υγρά) που δυνητικά μπορεί να αλλοιώσει τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του. Οι χημικές αντιδράσεις και τα προϊόντα που θα προκύψουν ως αποτέλεσμα των αλλοιώσεων του υλικού μπορεί να διαφοροποιήσουν τις βιολογικές αντιδράσεις του οργανισμού.



# Βιοσυμβατότητα

- Η βιοσυμβατότητα με την απόλυτη έννοια μπορεί να θεωρηθεί ουτοπική κατάσταση. Το πιθανότερο είναι ότι μπορεί κανείς να διακρίνει βαθμούς βιοσυμβατότητας. Βιοσυμβατά εμφυτευματικά υλικά θα πρέπει να θεωρούνται εκείνα που ερχόμενα σε επαφή ή σχέση με τους περιβάλλοντες ιστούς παρουσιάζουν την ελάχιστη δυνατή δράση ή πρόκληση κάποιων βιολογικών ή φυσικοχημικών φαινομένων



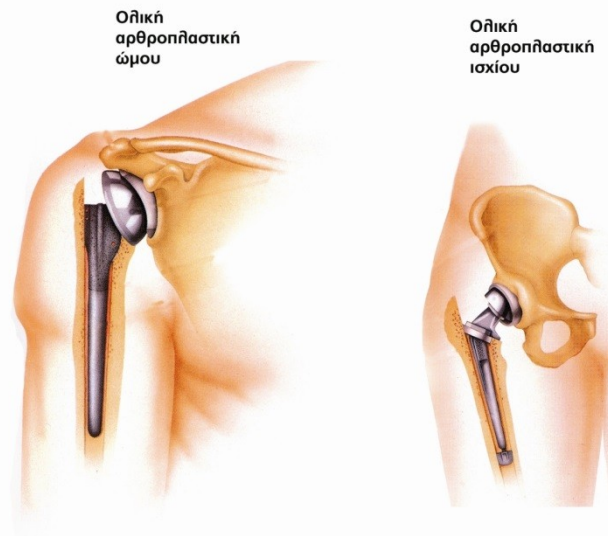
# Βιοσυμβατότητα

	Εμφυτευματικό υλικό	Σύμβολο
<b>Μέταλλα</b>	τιτάνιο (εμπορικώς καθαρό)	CrTi
	κράμα τιτανίου	Ti <sub>6</sub> Al <sub>4</sub> Va
	ανοξειδωτίας χάλυβας	SS, 316LSS
	κοβαλτοχρωμιούχο κράμα κράματα χρυσού	Vitalium, CoCrMo
	ταντάλιο	Ta
	νιόβιο	Nb
	<b>Κεραμικά</b>	αλουμίνο, ζόφειρος
υδραξυπατίτης		HA, Ca <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> (OH) <sub>2</sub>
ενώσεις φωσφορικού ασβεστίου		Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (φωσφορικό τρισσβέστιο ή TCP)
		Ca <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (φωσφορικό τετρασβέστιο ή TTCP)
		Ca <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (πυροφωσφορικό ασβέστιο)
		Ca <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> F <sub>2</sub> (φθοριοσπατίτης)
		Ca <sub>3</sub> HPO <sub>4</sub> -CaHPO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O (βρουξίτης)
άνθρακας		C, υαλώδης
άνθρακο-πυρίτιο		C-Si
βιοθπλας		SiO <sub>2</sub> -CaO-Na <sub>2</sub> O-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -MgO
ζιρκονία	ZrO <sub>2</sub>	
<b>Πολυμερές</b>	πολυμεθυλμεθακρυλικό	PMMA
	παλυτετραφλουοραιθυλένιο	PTFE
	πολυαιθυλένιο	PE
	πολυουρεθάνη	PU



# Βιοσυμβατότητα

- Ενώ το οστόύν αποτελεί κοινό ιστό υποδοχής των εμφυτευμάτων τόσο στην ορθοπαιδική όσο και στην οδοντική εμφυτευματολογία, υπάρχουν βασικές διαφορές. Στην ορθοπαιδική το εμφύτευμα δεν είναι απαραίτητο να οστεοενσωματωθεί. Ζητούμενο είναι η κίνηση, που μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με την συμβολή των μυών. Στην εμφυτευματολογία η λειτουργία των οδοντικών εμφυτευμάτων απαιτεί οστεοενσωμάτωση και ζωτικότητα του περιβάλλοντος οστού.



Δύο τεχνητές αρθρώσεις που χρησιμοποιούνται στην ορθοπεδική. Αποτελούν στην ουσία εμφυτεύματα που πρέπει να ακινητοποιηθούν εντός των οστών με σκοπό να αποκαταστήσουν χαμένη λειτουργία.

# Φυσικές ιδιότητες τιτανίου

Πίνακας III

	Ελαστική παραμόρφωση Gpa (μετ. ελ. Young)	Μέγιστη τιμή αντοχής εφελκυσμού MPa	Πυκνότητα g/cm <sup>3</sup>	Σημείο τήξης
cpTi grade 1	100	240	4,5	1660
cpTi grade 2	100	345	4,5	
cpTi grade 3	100	450	4,5	
cpTi grade 4	100	550	4,5	
cpTi grade 4	100	690	4,5	
Τιτανιούχα κράματα Ti <sub>6</sub> Al <sub>4</sub> Va	110	920	4,5	
Ti <sub>6</sub> Al <sub>7</sub> Nb	240	700	8,5	1400
316 ανοξ. χάλυβας κατεργ. εν ψυχρώ (cold worked)	200	965	7,9	
Χρυσός	90	130	19,3	1064
κράματα χρυσού	99	448	15-18	850-1050
Συμπαγές οστόν	18	140	0,7	
Αλουμίνια	380	350	4,0	
HA	10	40	3,1	

Πίνακας II

	N%	C%	H%	Fe%	O%	Al%	V%
cpTi grade 1	0.03	0.10	0.015	0.02	0.18	-	-
cpTi grade 2	0.03	0.10	0.015	0.03	0.25	-	-
cpTi grade 3	0.05	0.10	0.015	0.03	0.35	-	-
cpTi grade 4	0.05	0.10	0.015	0.05	0.40	-	-
Ti <sub>6</sub> Al <sub>4</sub> Va	0.05	0.08	0.012	0.05	0.13	5.5-6.5	3.5-4.5

Το καθαρό τιτάνιο διαφέρει ανάλογα με την περιεκτικότητα σε οξυγόνο και διακρίνεται σε τέσσερις κατηγορίες (grade 1-2-3-4). Αλλάζοντας τα συστατικά του σε Fe και O το εμπορικώς καθαρό τιτάνιο διαφοροποιεί την ανθεκτικότητά του. Το καθαρό τιτάνιο 1ου βαθμού (grade 1) παρουσιάζει μέγιστη αντοχή εφελκυσμού (240 MPa), το ήμισυ εκείνης του 4ου βαθμού (550 MPa).



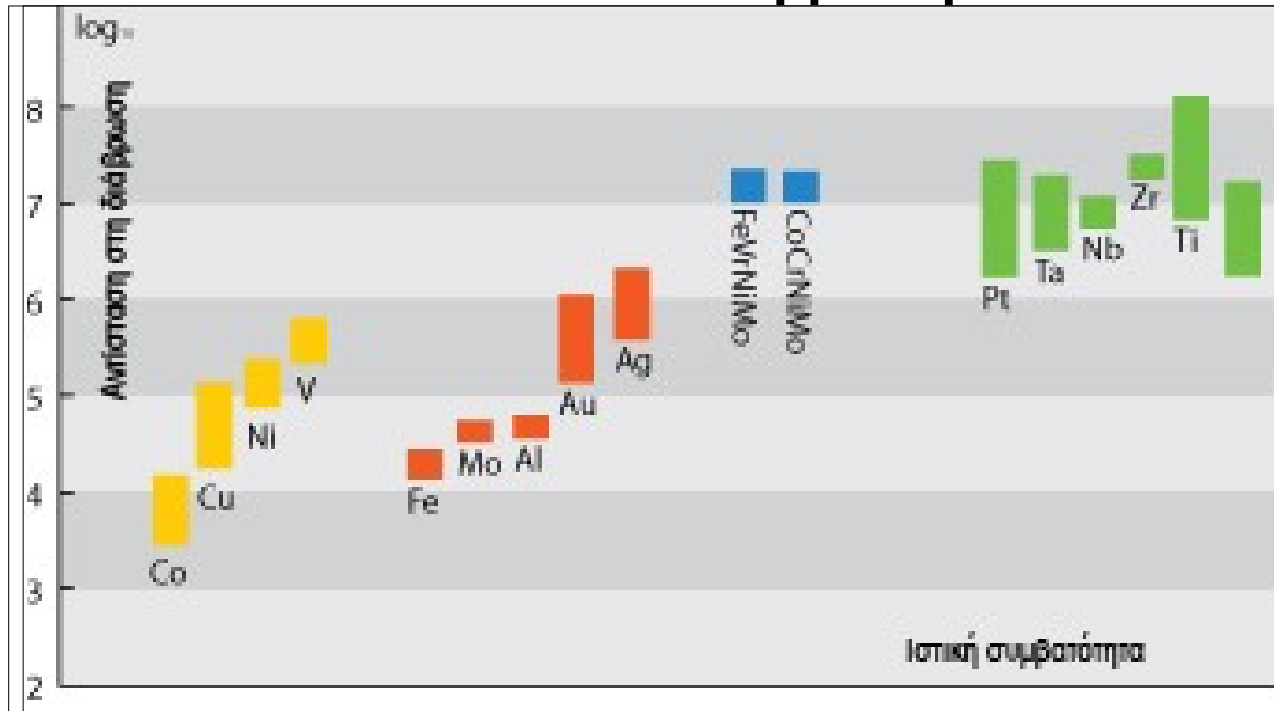
# Φυσικές ιδιότητες τιτανίου

- Σήμερα είναι αποδεκτό ότι το φαινόμενο της οστεοενσωμάτωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με μια πληθώρα υλικών. Ωστόσο, υπάρχουν δύο βασικές απαιτήσεις για τη χρησιμοποίησή τους στην κλινική εμφυτευματολογία:
  - να γνωρίζουμε το βαθμό ή την έκταση της οστεοενσωμάτωσης που μπορεί να επιτύχουν σε σύγκριση με το μέταλλο αναφοράς, δηλαδή το τιτάνιο.
  - να υπάρχουν κλινικά δεδομένα που να αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητά τους.



# Επιφανειακές ιδιότητες τιτανίου

## Διάβρωση



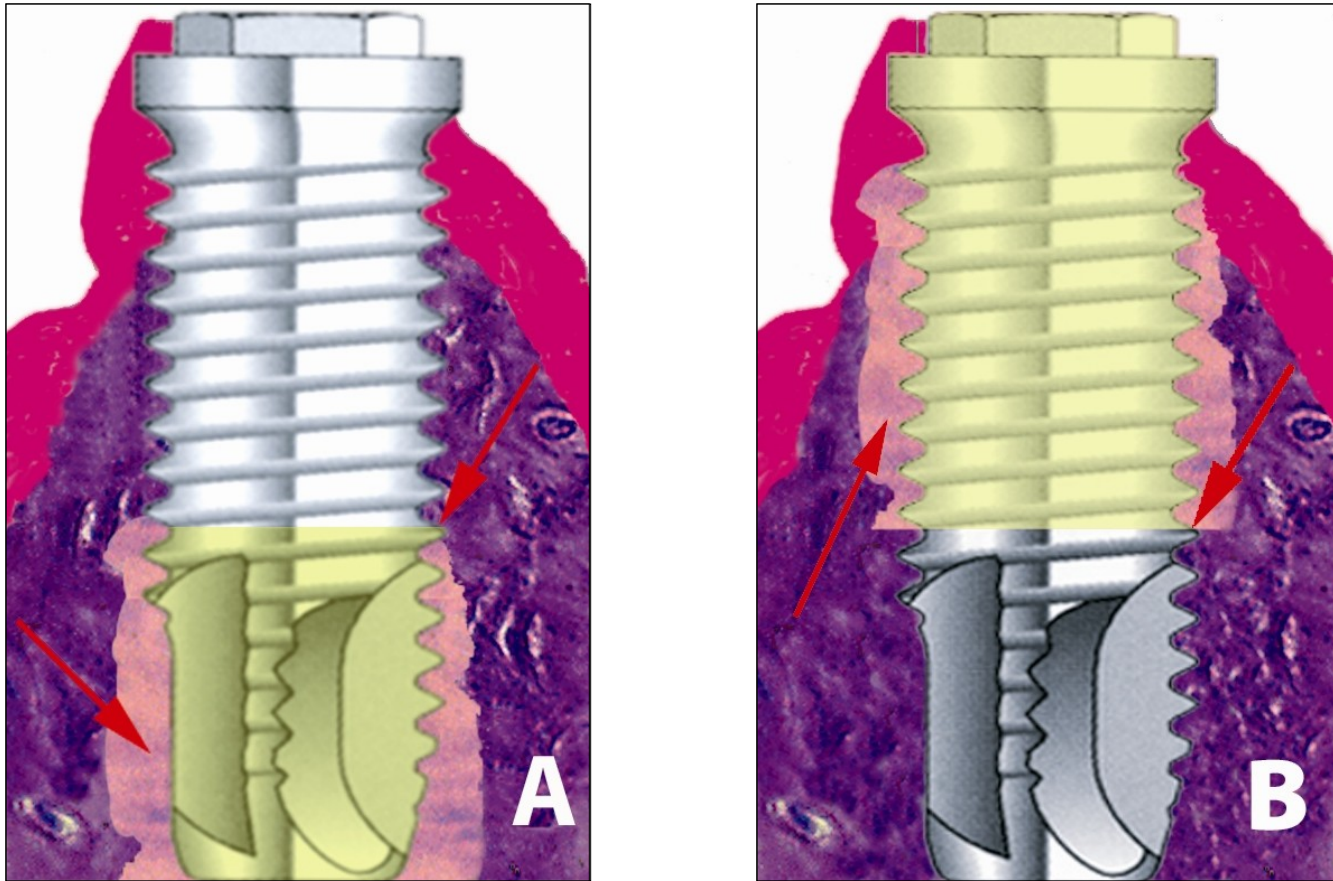
Διάγραμμα αντίστασης στη διάβρωση που έχουν ομαδοποιηθεί ανάλογα με τη συμπεριφορά τους.

Στο διάγραμμα παρουσιάζονται τρεις ομάδες. Η πρώτη (κίτρινο χρώμα) με τοξική και χαμηλή αντίσταση και διάβρωση περιλαμβάνει κοβάλτιο, ο χαλκός, το νικέλιο. Μια ομάδα με καλή σχετικά βιολογική συμπεριφορά και μεγαλύτερη αντίσταση στη διάβρωση περιλαμβάνει χρυσός, ο άργυρος κτλ. Τέλος μια ομάδα (κίτρινο χρώμα) με καλή συμβατότητα στους ιστούς και αντίσταση στη διάβρωση. Μεταξύ των μετάλλων παρουσιάζει την καλύτερη συμπεριφορά το τιτάνιο, τη γενικότερη βιοφιλική συμπεριφορά (Τροποποιημένο από Steinemann).

Με βάση αυτά τα δεδομένα θα πρέπει να έχουμε στο νου μας την τοξική δράση του βαναδίου (κίτρινη ομάδα στην εικόνα), όπως επίσης και τη σχετικά χαμηλή αντίσταση διάβρωσης του αλουμινίου (ομάδα χρώματος καφέ). Δύο μέταλλα που περιέχονται στα κράματα τιτανίου και χρησιμοποιούνται σε μερικά εμφυτεύματα.



# Επιφανειακές ιδιότητες τιτανίου

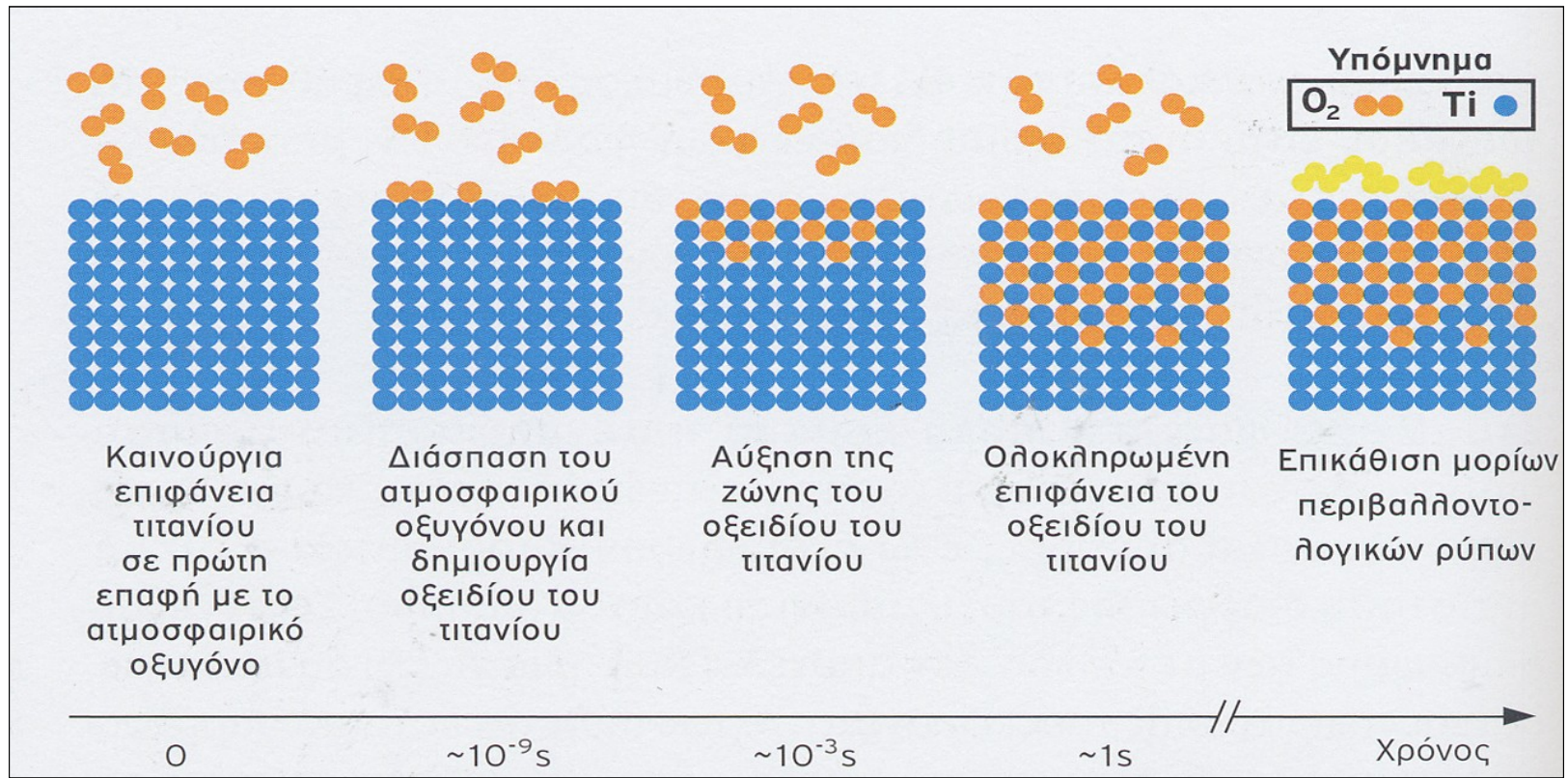


Στα σχήματα A και B παρουσιάζονται δυο εμφυτεύματα κατασκευασμένα από χρυσό και τιτάνιο. Στο σχήμα A το τιτάνιο αποτελεί το μυλικό του τμήμα ενώ στο σχήμα B αποτελεί το ακροριζικό. Η τοποθέτησή του σε πειραματόζωα απέδειξε την ικανότητα οστεοενσωμάτωσης του τιτανίου και την αδυναμία του χρυσού να οστεοενσωματωθεί, παρά τη χαμηλή ικανότητα διαφύσεως.



# Επιφανειακές ιδιότητες τιτανίου

## Σχηματισμός $\text{TiO}_2$



Σχηματισμός οξειδίου του τιτανίου

Σχηματισμός οξειδίου του τιτανίου σε σχέση με το χρόνο κέθεσης του τιτανίου στον περιβάλλοντα αέρα. Είναι εμφανές παό το σχήμα ότι σε νανοδευτερόλεπτα (1 νανοδευτερόλεπτο =  $10^{-9}\text{s}$ ), ακαριαία δηλαδή, το τιτάνιο μόλις έρθει σε επαφή με τον αέρα δημιουργεί ένα οξειδίο και ενδεχομένως μολύνεται από περιβαλλοντολογικούς ρύπους. Έπειτα από 1 δευτερόλεπτο το τοξειδίου του τιτανίου ανέρχεται σε εύρς 20-100 Å. Οι ρύποι μπορεί να επικάθονται στην επιφάνεια του τιτανίου ή να ενσωματώνονται στο εσωτερικό του οξειδίου του τιτανίου.



# Επιφανειακές ιδιότητες τιτανίου

- Η ικανότητα του τιτανίου να δημιουργεί στην επιφάνειά του σε νανοδευτερόλεπτα ( $10^{-9}$  sec) έπειτα από επαφή με τον αέρα, μία πυκνή ζώνη οξειδίου του τιτανίου σε μια εύρους 20-100 Å αποτελεί και το λόγο αντίστασης σε φαινόμενα διάβρωσης. Το οξείδιο αυτό είναι κυρίως  $TiO_2$  αλλά περιέχει επίσης  $TiO$  και  $TiO_3$  ανάλογα με τη θέση δέσμευσης του οξυγόνου.
- Συνεπώς, το οξείδιο του τιτανίου θεωρείται ένα από τα πιο ανθεκτικά ανόργανα, σταθερό σε χημικές επιδράσεις ακόμη και στα πιο επιθετικά υγρά και έτσι δικαιολογείται η ανθεκτικότητα του τιτανίου στην επιφανειακή διάβρωση. Την ιδιότητα αυτή δεν παρουσιάζουν τα ευγενή μέταλλα (χρυσός, πλατίνα, παλλάδιο).



# Βιολογική δράση

- Σε *in vitro* καταστάσεις η απελευθέρωση ιόντων τιτανίου από δοκίμια καθαρώς εμπορικού τιτανίου (CrTi) βρέθηκε ότι μπορεί να φτάσει τα 0,08 μg ημερησίως, που είναι 10.000 φορές μικρότερη ποσοτικά της ημερήσιας απορρόφησης τιτανίου στον οργανισμό μας
- Η βιολογική δράση του καθαρού τιτανίου οφείλεται στο σχηματισμό του οξειδίου του τιτανίου το οποίο πέρα από τη «μονωτική» δράση του παρουσιάζει μια επιφάνεια με αμφοτερίζοντα χαρακτήρα. Μπορεί να συνδέεται τόσο με οξέα όσο και με βάσεις.
- Συνεπώς, η παραμικρή παράλειψη κατά τη διάρκεια των διαφόρων σταδίων παραγωγής μπορεί να «μολύνει» την επιφάνεια του εμφυτεύματος και ως εκ τούτου να διαφοροποιήσει δυνητικά τις βιολογικές αντιδράσεις του οργανισμού.



# Βιολογική δράση

- Η επίτευξη οστεοενσωμάτωσης προϋποθέτει :
  1. Το υλικό του εμφυτεύματος να είναι βιολογικά αποδεκτό
  2. Κατάλληλη αρχιτεκτονική μορφολογία του εμφυτεύματος (σχεδιασμός-αρχιτεκτονική δομή)
  3. Κατάλληλο οστικό υπόστρωμα (ύψος-εύρος-σύσταση)
  4. Ατραυματική και άσηπτη χειρουργική τεχνική
  5. Αρχική ακινητοποίηση και σταθερότητα του εμφυτεύματος
  6. Αποφυγή ή ελεγχόμενη φόρτιση κατά την αρχική περίοδο επούλωσης



# Βιολογική δράση

- Ο σχεδιασμός ενός εμφυτεύματος θα πρέπει να στοχεύει: στην ταχύτερη επίτευξη της οστεοενσωμάτωσης, στη μεγαλύτερη σε έκταση οστεοενσωμάτωσης και στην ατραυματική μεταφορά των δυνάμεων που εξασκούνται και εκλύονται κατά τη στοματογναθική λειτουργία στο περιβάλλον οστού.



# Βιολογική δράση

## Μακροσυγκράτηση – μακροαρχιτεκτονική

- Επιστημονικά δεδομένα που συνηγορούν στην καλύτερη συμπεριφορά των κοχλιωτών εμφυτευμάτων είναι πρώτον, η αρχική ακινητοποίηση υποβοηθείται από την ύπαρξη σπειρών, δεύτερον, βρίσκονται σε αμεσότερη επαφή με το περιβάλλον οστούν τρίτον, η ύπαρξη των σπειρών παίζει σημαντικό ρόλο στον τρόπο κατανομής των φορτίων και των τάσεων.



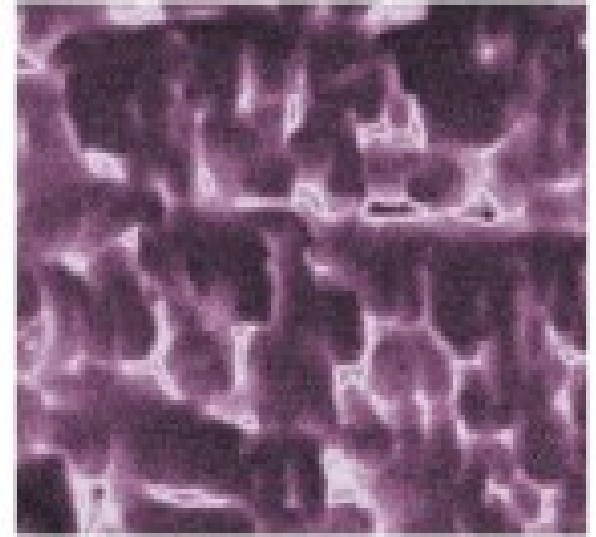
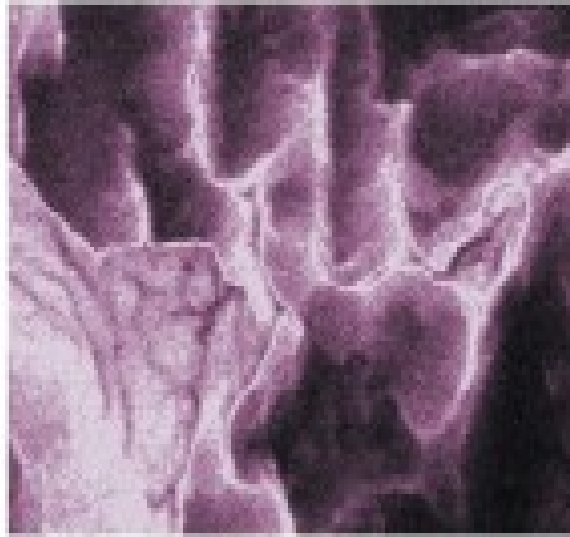
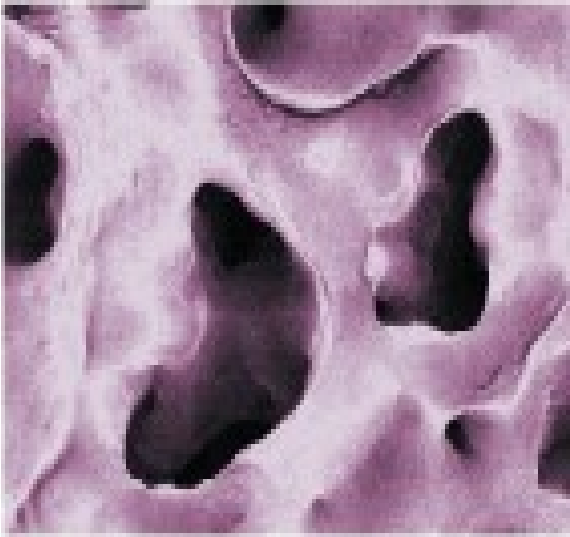
Παράδειγμα κυλινδρικού εμφυτεύματος (1). IMZ και κοχλιωτού (2) μηχανοποιημένου Branemark.



# Βιολογική δράση

## Μικροσυγκράτηση

Αφαιρετική μεθοδολογία



Σχηματοποιημένες εικόνες από τρεις μορφές αφαιρετικής μεθοδολογίας . Η πρώτη μορφολογία (1 A) έχει προκύψει με ηλεκτρολυτική κατεργασία του τιτανίου (TiUnite), η δεύτερη (1B) έχει προκύψει από συνδυασμό αμμβλής και χημικής αδροποίησης με οξέα (SLA) και η τρίτη με διπλή κατεργασία και αδροποίηση οξέων (Osseotite) .

Ηλεκτρόλυση

Αμμοβολή και  
αδροποίηση με οξύ

Διπλή αδροποίηση  
οξέων



# Βιολογική δράση

## Προσθετική διαδικασία

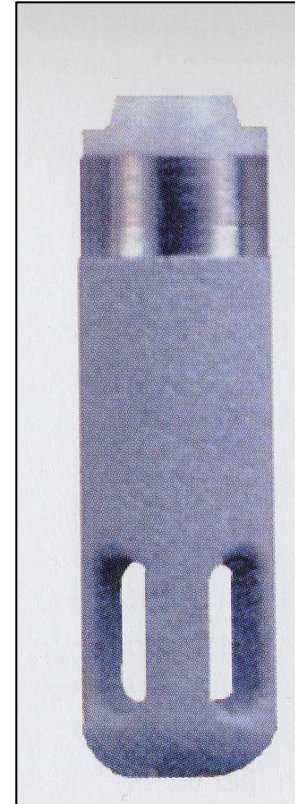


Παράδειγμα εμφυτεύματος με μικροσυγκράτηση που έχει προκύψει από μια προσθετική μεθοδολογία (Endopore). Το εμφύτευμα αυτό στο μυλικό τμήμα παρουσιάζει σπείρες χωρίς καμία κατεργασία, συνεπώς, χωρίς κάποια μορφή μικροσυγκράτησης. Το υπόλοιπο τμήμα όμως του εμφυτεύματος παρουσιάζει μια μικροαρχιτεκτονική δομή που έχει προκύψει από σύντηξη σφαιριδίων τιτανίου στην επιφάνειά του (Λεπτομέρεια).





# Βιολογική δράση



Παράδειγμα εμφυτευμάτων με κεραμική επικάλυψη και ολοκεραμικών.

**Ολοκεραμικά**

**Με κεραμική επίστρωση**

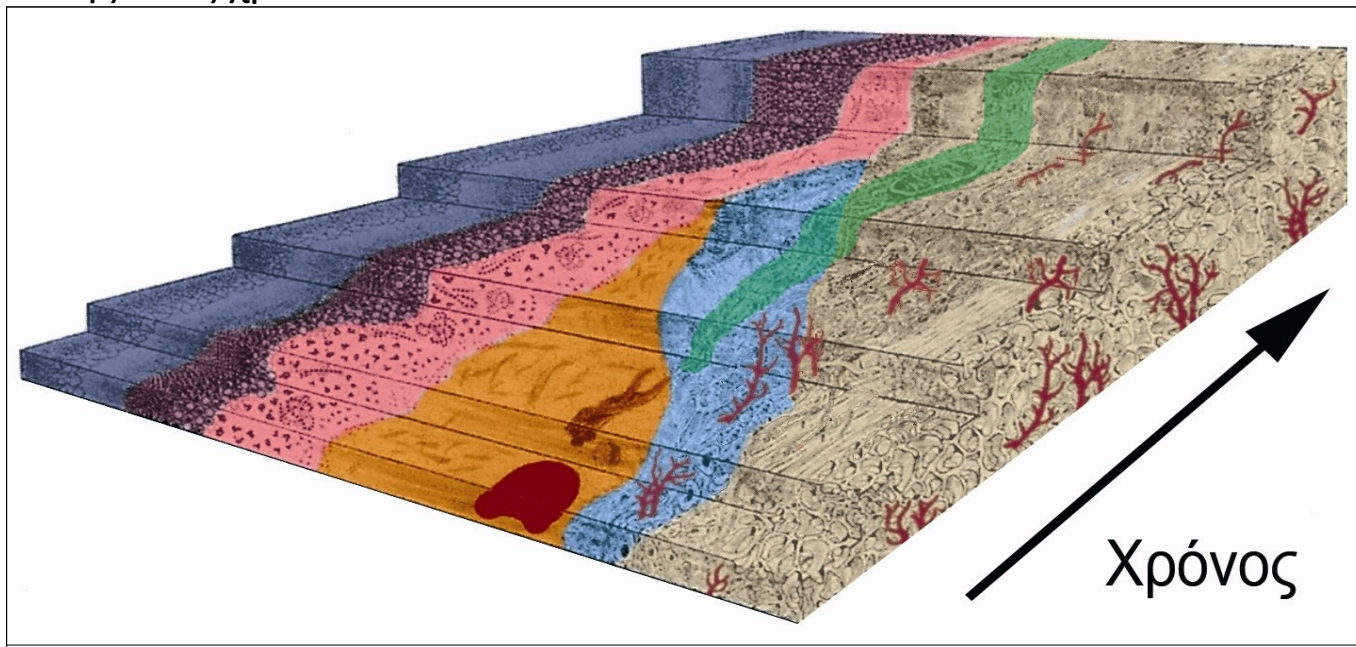
# Βιολογική δράση

- Βιοενεργή διαδικασία
  - Η αδρότητα των τιτανιούχων επιφανειών σε *in vitro* καλλιέργειες οστεοβλαστικών κυττάρων έδειξε ότι ευνοεί σε σύγκριση με λείες επιφάνειες την κυτταρική προσκόλληση, την παραγωγή θεμελίου ουσίας, τη σύνθεση οστεοκαλσίνης, προσταγλαδίνης, και την αύξηση της δραστηριότητας της αλκαλικής φωσφατάσης, ένδειξη δηλαδή οστεοσυνθετικής δραστηριότητας



# Βιολογική δράση

- Η έκταση της οστεοενσωμάτωσης αυξάνεται με το χρόνο και αυτό έχει να κάνει με το ρυθμό αναδόμησης του περιβάλλοντος οστού. Συνεπώς, οι μεγάλες διαφορές που παρουσιάζονται στους πρώτους μήνες με αδρότερες επιφάνειες σε σύγκριση με μηχανοποιημένες τείνουν να εξισωθούν έπειτα από περίοδο επούλωσης ενός χρόνου.



Σχηματική παράσταση εξέλιξης οστεοενσωμάτωσης .

Η οστεοενσωμάτωση αποτελεί μια χρονοεξαρτώμενη βιολογική αντίδραση . Δύο βασικά στοιχεία διαδοροποιούνται στο χρόνο: το οξείδιο του τιτανίου ( Ζώνη Β), το οποίο αυξάνει το εύρος, και το οξύτις (Ζώνη ΣΤ) που συμπλησιάζει με το

# Βιολογική δράση

- Το τελικό και πρακτικό ερώτημα, βέβαια, είναι ποια είναι η κλινική σημασία αυτών των καινούριων δεδομένων και αν ανταποκρίνονται σε πραγματική βελτίωση της συμπεριφοράς αυτών των εμφυτευμάτων στον άνθρωπο. Αν ένα εμφύτευμα προάγει τη δυνατότητα ταχύτερης οστεοενσωμάτωσης, αυτό σημαίνει ταχύτερη προσθετική αποκατάσταση. Αν όμως η προσθετική εργασία δεν πραγματοποιηθεί ταχύτερα, τότε το πλεονέκτημα αυτό ακυρώνεται.
- Αν τα νέα δεδομένα σχετικά με την μικροαρχιτεκτονική του εμφυτεύματος επιβεβαιωθούν θα επιτευχθούν τρεις σημαντικές εξελίξεις στην εμφυτευματολογία:
  - Η χρησιμοποίηση μικρότερων σε μήκος εμφυτευμάτων. Συνεπώς, θα μειωθεί η ανάγκη χειρουργικών επεμβάσεων για αύξηση του ύψους της φατνιακής απόφυσης.
  - Η ελάττωση του χρόνου οστικής επούλωσης .
  - Η πιο ασφαλής χρησιμοποίησή τους και η καλύτερη πρόγνωση σε μαλακό οστόν τύπου IV.



# Βιολογική δράση

- Στα οδοντικά εμφυτεύματα, σε αυτούσια μορφή, χρησιμοποιήθηκαν κεραμικά υψηλής αντοχής σε μονοκρυσταλική μορφή κυρίως οξειδίου του αλουμινίου. Σαν κεραμικές επικαλύψεις συνήθως τιτανίου ή κράματος τιτανίου, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ενώσεις φωσφορικού ασβεστίου. Τα κεραμικά υλικά αυτών των εμφυτευμάτων θα πρέπει να έχουν πυκνή πολυκρυσταλλική δομή έτσι ώστε να παρουσιάζουν αντοχή σε δυνάμεις συμπίεσης και κάμψης.
- Η βιοφιλική συμπεριφορά των ενώσεων φωσφορικού ασβεστίου αποδίδεται στην απελευθέρωση ιόντων Ca και PO<sub>4</sub> με διαφορετική όμως ανταπόκριση ανάλογα με τη χημική σύσταση και τη δομή της κεραμικής επικάλυψης.
- Ένα σημαντικό στοιχείο λοιπόν που θα επηρεάσει τη βιολογική συμπεριφορά της κεραμικής επίστρωσης αποτελεί ο βαθμός διαλυτότητας. Η κρυσταλλική δομή με μεγαλύτερη δηλαδή αντοχή, είναι εκείνη που προσφέρει τη σταθερότητα στη διάλυση. Η άμορφη, πιο διαλυτή δομή φαίνεται να προάγει την οστική αντίδραση, όμως, είναι περιορισμένης αντοχής. Συνεπώς, εμφανίζονται αντικρουόμενες επιθυμητές ιδιότητες.



# Βιολογική δράση

- **Αρχική συγκράτηση – Μικροκίνηση εμφυτεύματος**

- Το επιτρεπτό όριο της μικροκίνησης ενός εμφυτεύματος τέθηκε κατ' εκτίμηση στα 100  $\mu\text{m}$ . Πέραν του ορίου αυτού έχουμε την «υπερβάλλουσα» μικροκίνηση. Οι παράγοντες που συμβάλλουν σ' αυτήν την αρχική επίτευξη τη σταθερότητας είναι η συγκρατητική μορφολογία του εμφυτεύματος (κωνικό, κυλινδρικό, κτλ.), η ποιότητα του οστού και η ακρίβεια της διάνοιξης.



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

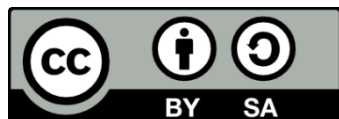
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Διονυσία Δημητράκη  
Θεσσαλονίκη, 9/2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ