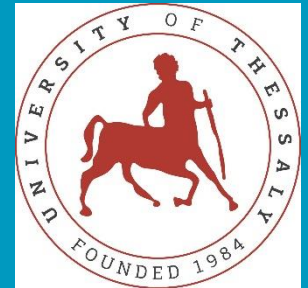


# Σύνδεσμοι και Τένοντες Φυσιολογία και μηχανική συμπεριφορά

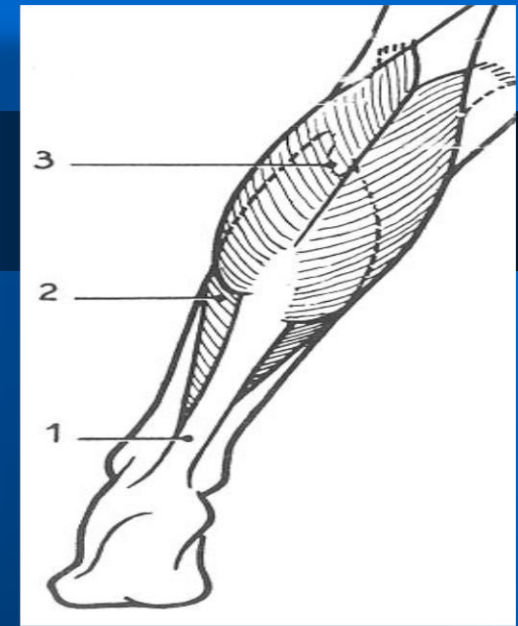
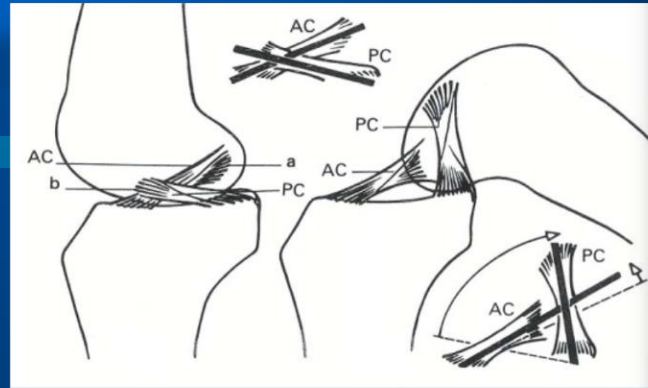
*Δρ. Παναγιώτης Β. Τσακλής*  
*Καθηγητής*  
*Εμβιομηχανικής & Εργονομίας*  
*ΤΕΦΑΑ – Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*



*Res. Assoc Department of Molecular Medicine & Surgery*  
*Karolinska Institutet*



# Σε συντομία...



## ● Λειτουργία

- Σύνδεσμοι : σύνδεση οστού με οστό

αύξηση της μηχανικής σταθερότητας της αρθρικής κίνησης, αποτροπή ακραίας κινητικότητας

- Τένοντες : σύνδεση του μυ με το οστό

μεταδίδει τις εκτατικές φορτίσεις από τον μυ στο οστό, επιτρέποντας στη μυϊκή γαστέρα να βρίσκεται σε κατάλληλη απόσταση από την άρθρωση

# Σύνθεση και δομή των τενόντων και συνδέσμων

## Προσδιορισμός των τενόντων και συνδέσμων

Ανθεκτικός συνδετικός ιστός γνωστός ως παραλλήλων ινών  
*κολλαγόνο ιστός*

Αποτελείται από λίγα κύτταρα (ινοβλάστες) και άφθονη εξωκυττάρια ουσία

- η εξωκυττάρια ουσία αποτελεί το 80% του συνολικού ιστού
- περίπου το **30%** της εξωκυττάριας ουσίας είναι **στερεά και 70% νερό**

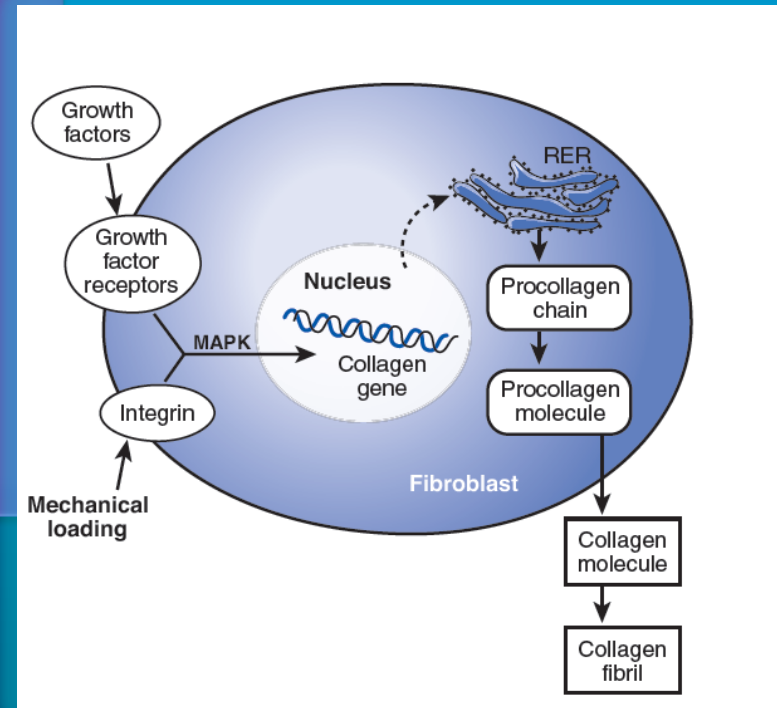
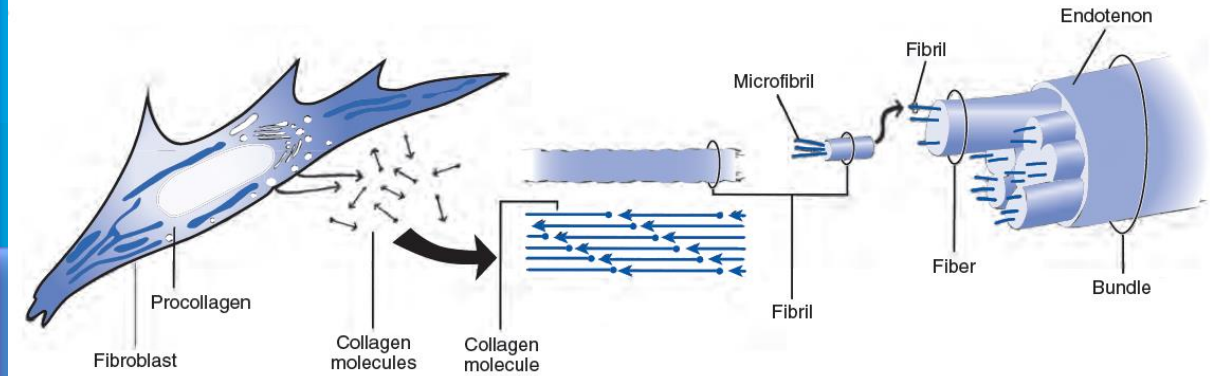
## Σύνθεση των στερεών

- Κολλαγόνο ~75% (τένοντες > σύνδεσμοι) (στους τένοντες των άκρων ~99%)
- Ελαστίνη
- Θεμέλιος ουσία

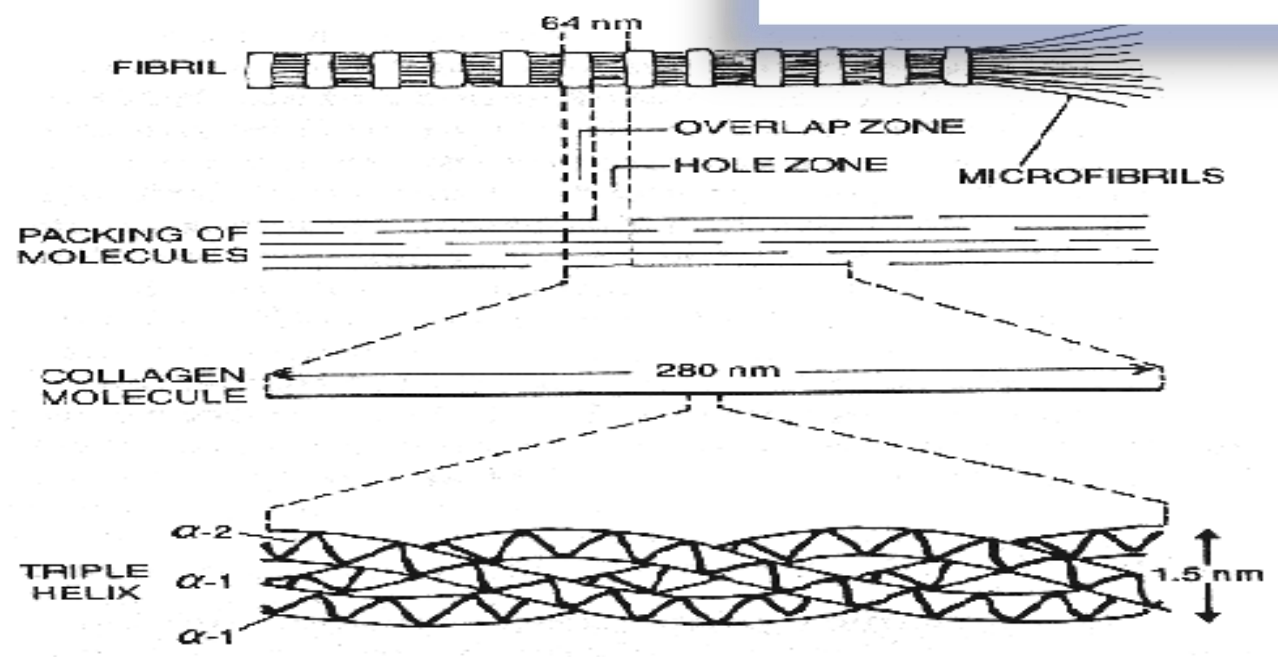
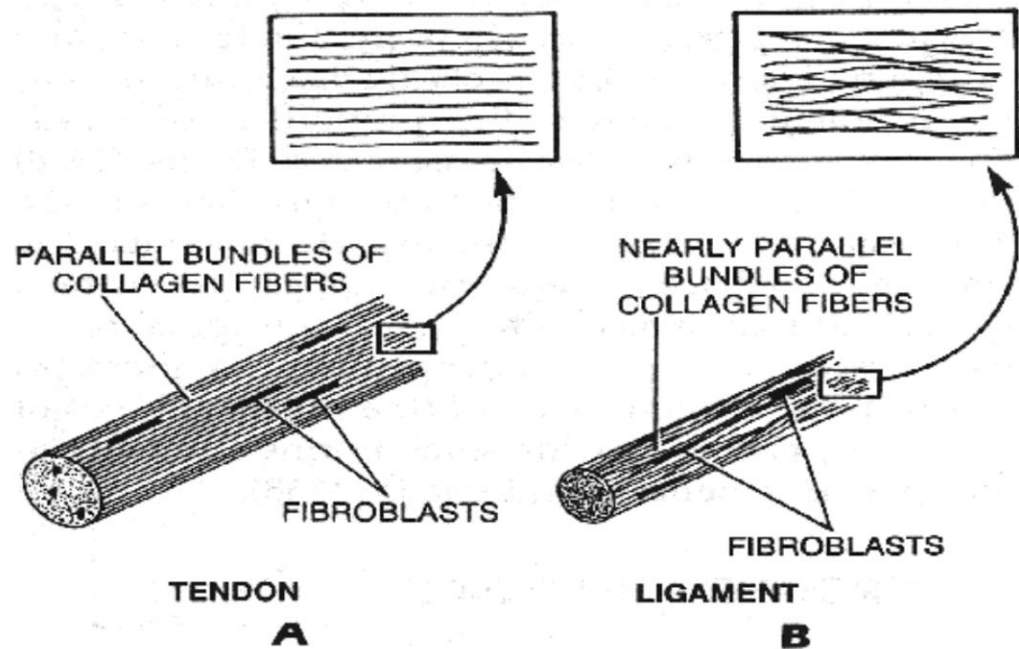


## Χαρακτηριστικά

- Ινοβλάστης > προκολλαγόνο > κολλαγόνο
- 3 πολυπεπτιδικές αλυσίδες ( $\alpha$ ) ( $2\alpha 1$  &  $1\alpha 2$ )
- 66% του κυττάρου του κολλαγόνου αποτελείται από 3 αμινοξέα (Γλυκίνη 33% - προλίνη 15% - υδροξυπρολίνη 15%)
- Στο νέο κολλαγόνο > αδύναμους δεσμούς > διαλυτό σε ανόργανα άλατα και οξέα και οι συνδέσεις επηρεάζονται από τη ζέση



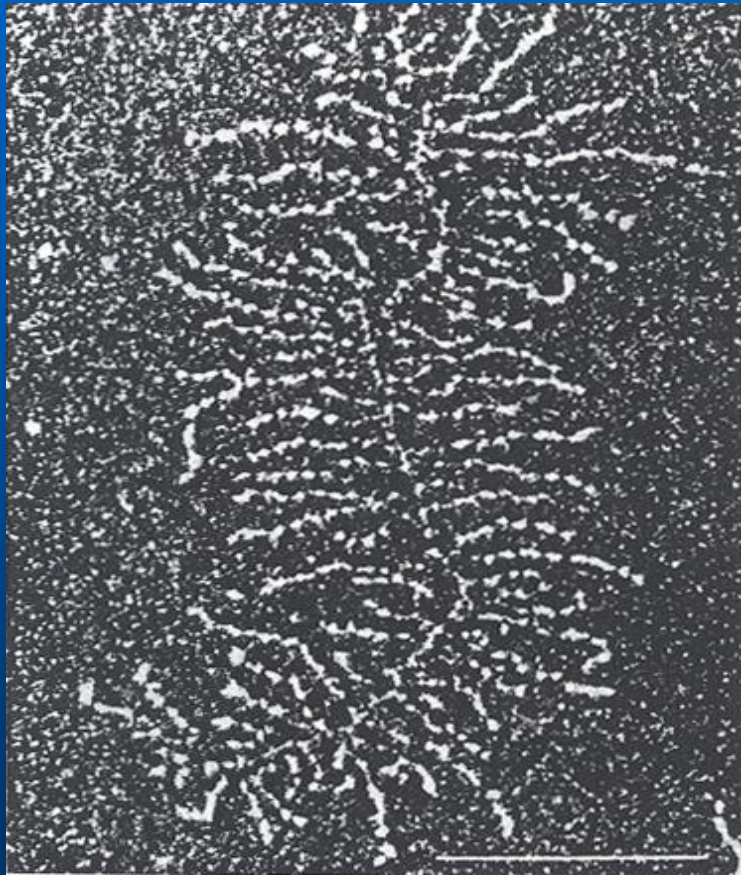
# Κολλαγόνο (I)



# Ελαστίνη

- Προσδιορισμός της ελαστίνης
  - βασική ουσία σύστασης του **ελαστικού ιστού**
- Έχει ειδικό ρόλο στο συνδεσμικό σύστημα της ΣΣ το οποίο είναι επιφορτισμένο για:
  - την προστασία των ριζών των **νωτιαίων νεύρων** από τη μηχανική πρόσκρουση
  - την **προ-φόρτηση** των κινητικών δομών
  - την παροχή **αυξημένης σταθερότητας** στη ΣΣ

# Θεμέλιος ουσία



Dark field electron micrograph of a PG

Ἡ δομική ουσία στους συνδέσμους και τους τένοντες αποτελείται από πρωτεογλυκάνες (PGs) (έως και 20% των στερεών) σε συνδυασμό με δομικές **γλυκοπρωτεΐνες**, **πρωτεΐνες πλάσματος** και μία ποικιλία **μικρών κυττάρων**

## Λειτουργία

Οι PG δρουν σαν ουσία «τσιμέντο»  
μεταξύ των μικροϊνιδίων του κολλαγόνου  
**Σταθεροποιούν τον κολλαγόνο σκελετό**

Των τενόντων και συνδέσμων

- συνεισφέροντας στην **ολική δύναμη** αυτών των δομών

# Εξωτερική δομή και πρόσφυση στο οστό

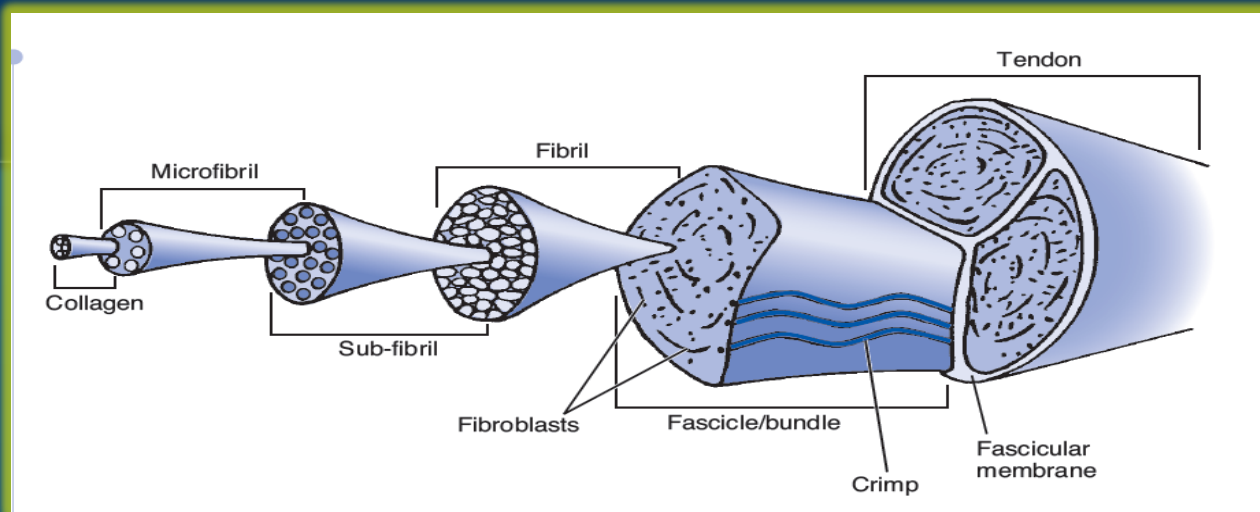
● Διαφορές της εξωτερικής δομής τενόντων και συνδέσμων *σε σχέση με τη λειτουργικότητα*

: και οι δύο περιβάλλονται από έναν χαλαρό σωληνωτό συνδετικό ιστό

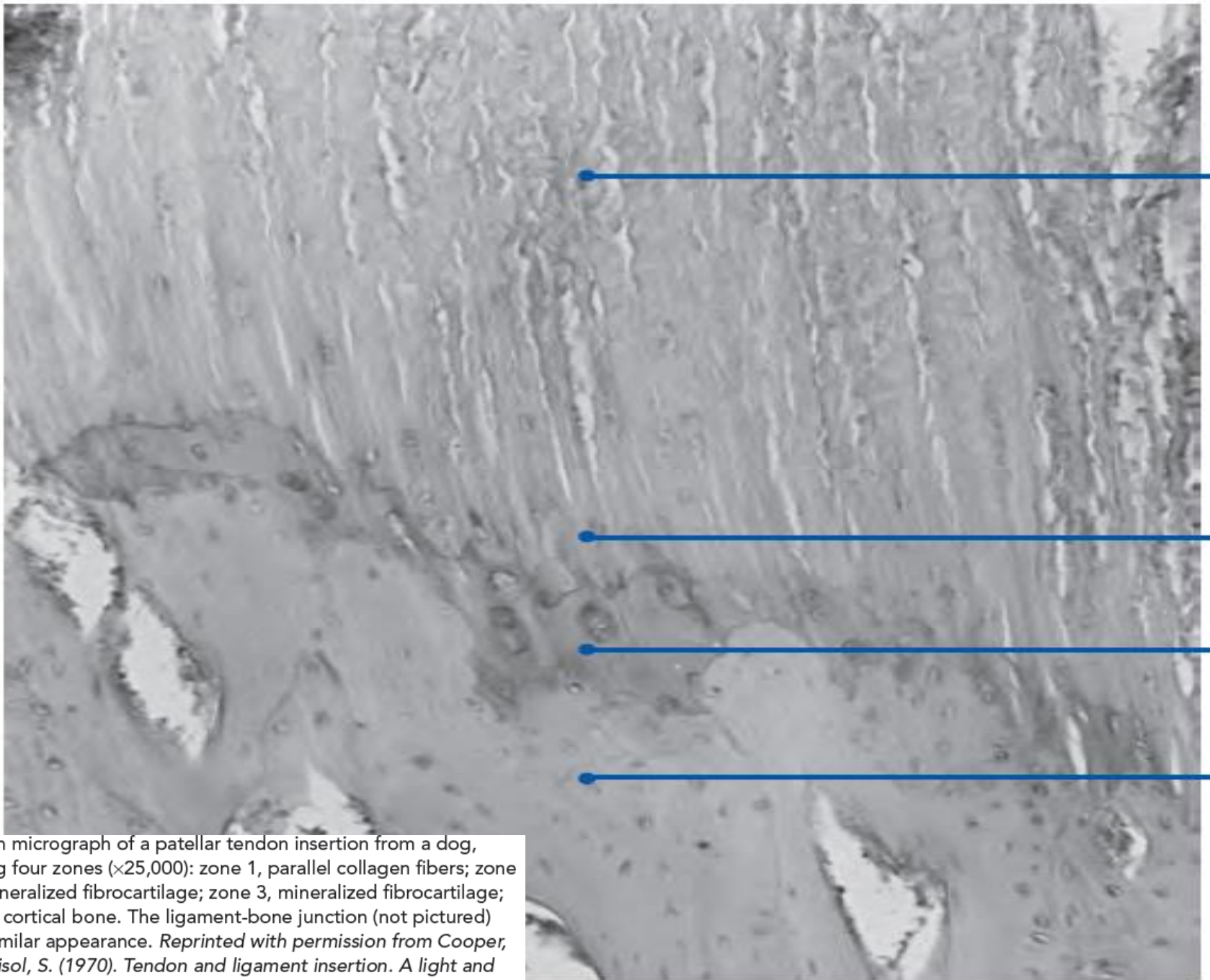
- στον τένοντα : ονομάζεται **παρατένοντας**

**πιο δομημένος** από τον αντίστοιχο στο σύνδεσμο  
δημιουργεί μία **θήκη** - για προστασία του τένοντα

- επιτρέποντας την ολίσθηση







•1

•2

•3

•4

Electron micrograph of a patellar tendon insertion from a dog, showing four zones ( $\times 25,000$ ): zone 1, parallel collagen fibers; zone 2, unmineralized fibrocartilage; zone 3, mineralized fibrocartilage; zone 4, cortical bone. The ligament-bone junction (not pictured) has a similar appearance. Reprinted with permission from Cooper, R.R., Misol, S. (1970). *Tendon and ligament insertion. A light and electron microscopic study. J Bone Joint Surg, 52A, 1.*

# Μηχανική συμπεριφορά τενόντων και συνδέσμων

## Σκοπός

Η ανάλυση της μηχανικής συμπεριφορά των τενόντων και των συνδέσμων οδηγεί σε **σημαντικές πληροφορίες** για την κατανόηση **των μηχανισμών των κακώσεων**

## Περιλαμβάνει

- Εμβιομηχανικές απαιτήσεις
- φυσιολογική φόρτιση τενόντων και συνδέσμων
- μηχανισμοί κάκωσης τενόντων και συνδέσμων
- γλοιοελαστική συμπεριφορά τενόντων και συνδέσμων

# Εμβιομηχανικές απαιτήσεις

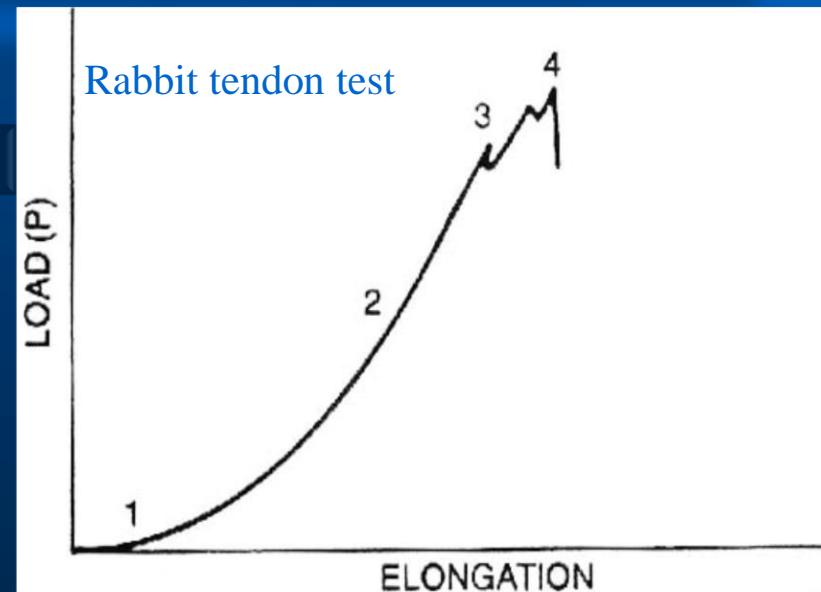
- Ο ιστός *διατείνεται* έως τη ρήξη του, και ορίζεται η δύναμη που το προκαλεί

ο συντελεστής ελαστικότητας για τένοντες & συνδέσμους

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

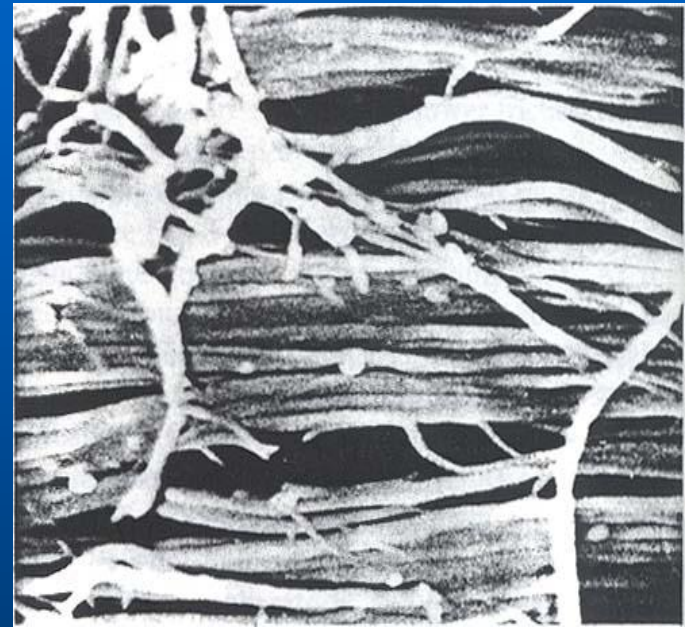
Στην περιοχή .1

- ο συντελεστής ελαστικότητας δεν *είναι συνεχής* αλλά αυξάνει σταδιακά



- 1.«δακτυλική» περιοχή
- 2.Γραμμική περιοχή
- 3.Τέλος της γραμμικής (P-lin)
- 4.Μέγιστη φόρτιση (P-max)

# Εμβιομηχανικές απαιτήσεις...



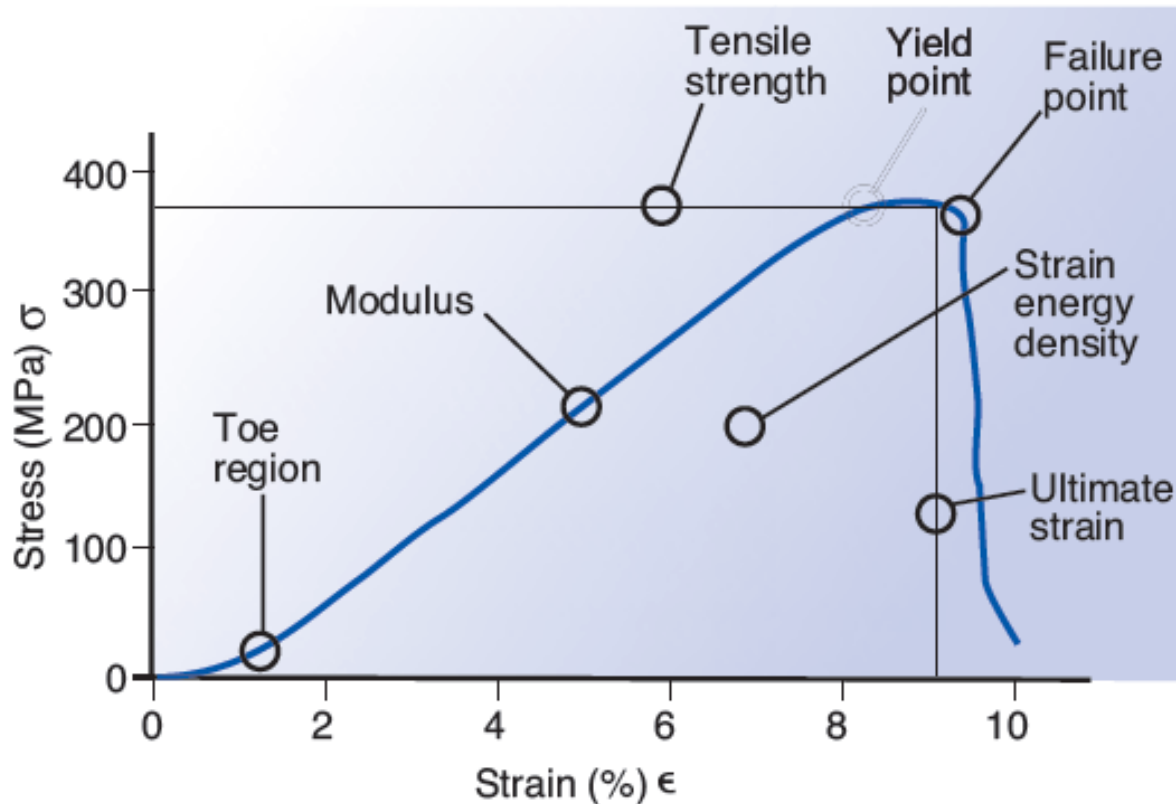
A : The unloaded collagen fibers have a wavy configuration

B : The collagen fibers have straightened out under load

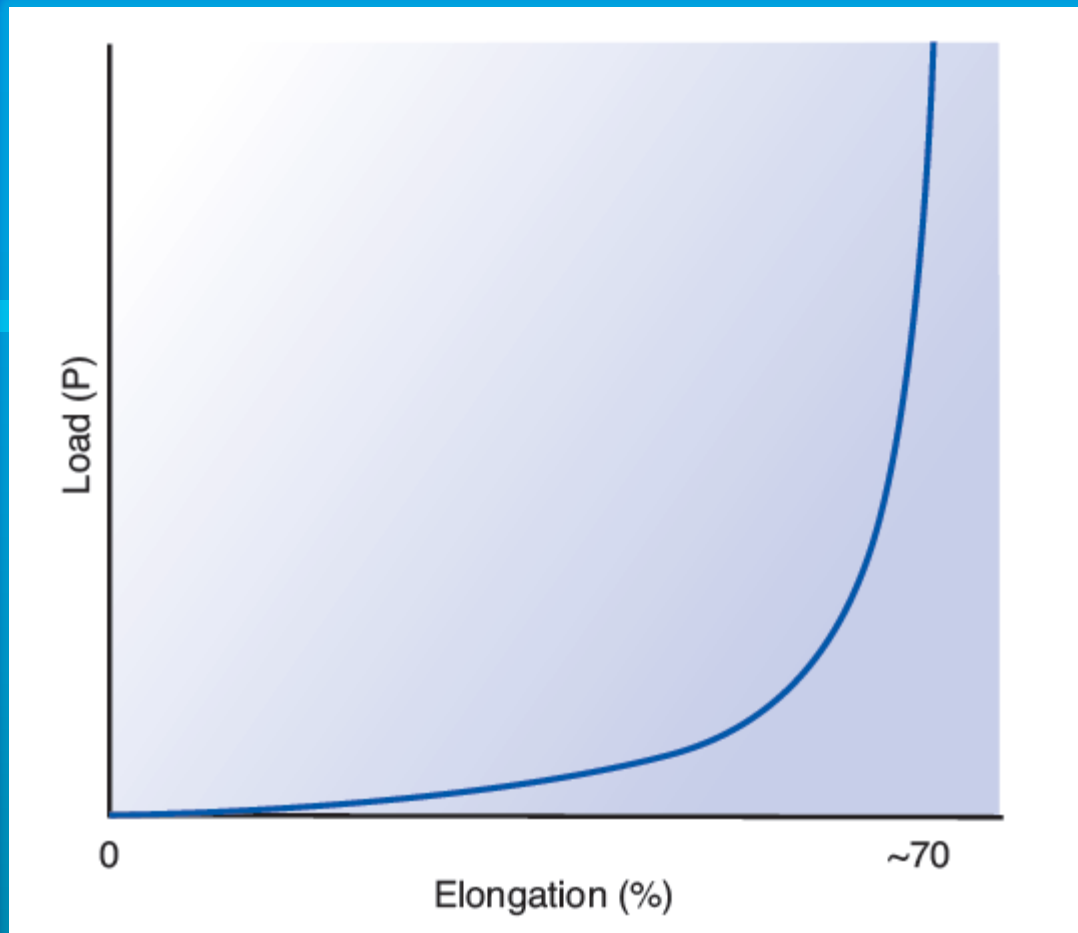
**Human knee ligaments(10,000x)**



## ...Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης...



by the complex. **B.** A stress-strain curve of a tendon/ligament structure under tensile loading. The X-axis is the percentage of deformation (elongation) expressed as strain ( $\epsilon$ ) and the Y-axis is the stress or load per unit of area (MPa) expressed as stress ( $\sigma$ ), which refers to the tensile strength of the tissue. A modulus of elasticity ( $\text{N}/\text{mm}^2$  or MPa) is obtained from the linear slope of the stress-strain curve between two limits of strain (deformation). The tensile strength ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) is the maximum stress achieved, the ultimate strain (in percentage) is the strain at failure, and the strain energy density (MPa) is the area under the stress-strain curve. Adapted from Woo, S.L.Y., et al. (2000). *Injury and repair of ligaments and tendons. Ann Rev Biomed Eng, 2, 86.*



Σπονδυλικός σύνδεσμος. Στο **70% επιμήκυνσης** ο σύνδεσμος υπόκειται σε **μεγάλη αύξηση της σκληρότητάς του** και με πρόσθετη φόρτιση καταρρέει δίχως παραπέρα υποχώρηση

# Μηχανισμοί κάκωσης τενόντων και συνδέσμων (I)

- **ομοιότητα** των μηχανισμών κάκωσης για τένοντες και συνδέσμους

εν συντομία..

Όταν ο σύνδεσμος υπόκειται **σε φόρτιση που φτάνει** το φυσιολογικό εύρος

Μικροαποδόμηση  
του τένοντα



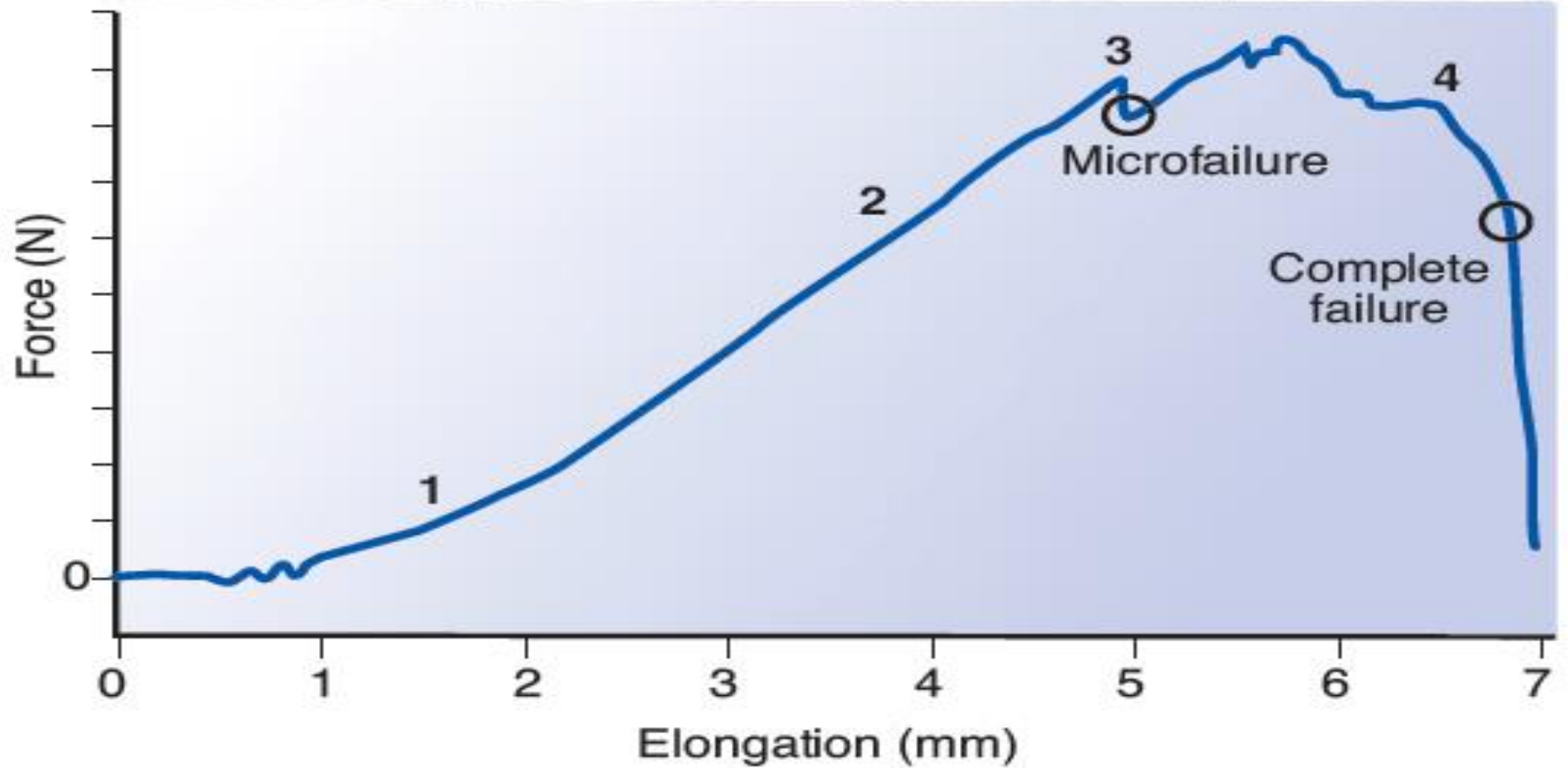
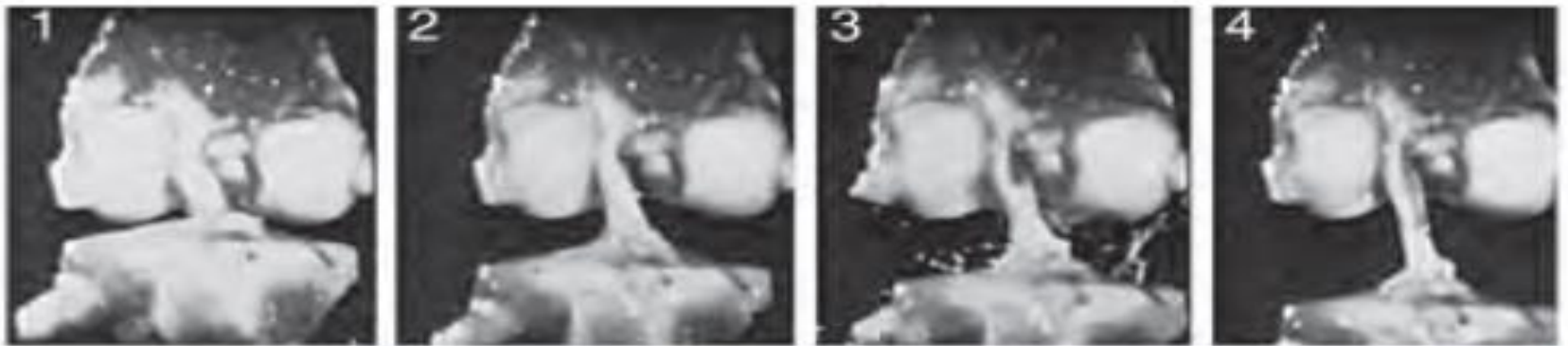
Μεγάλη  
αποδόμηση



Ανώμαλη σταθεροποίηση  
της άρθρωσης



Τραυματισμός του θύλακου, των  
άλλων συνδέσμων και αγγείων



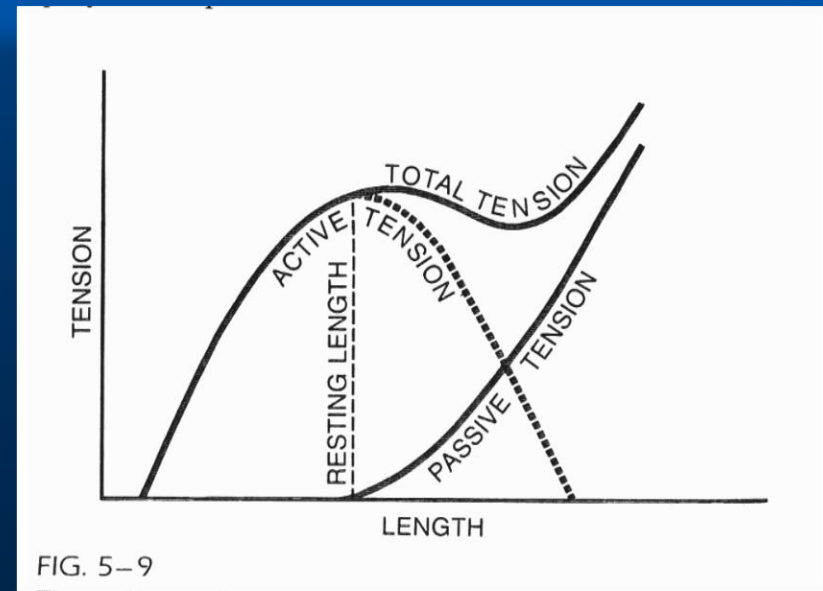


# Μηχανισμοί κάκωσης τενόντων και συνδέσμων (II)

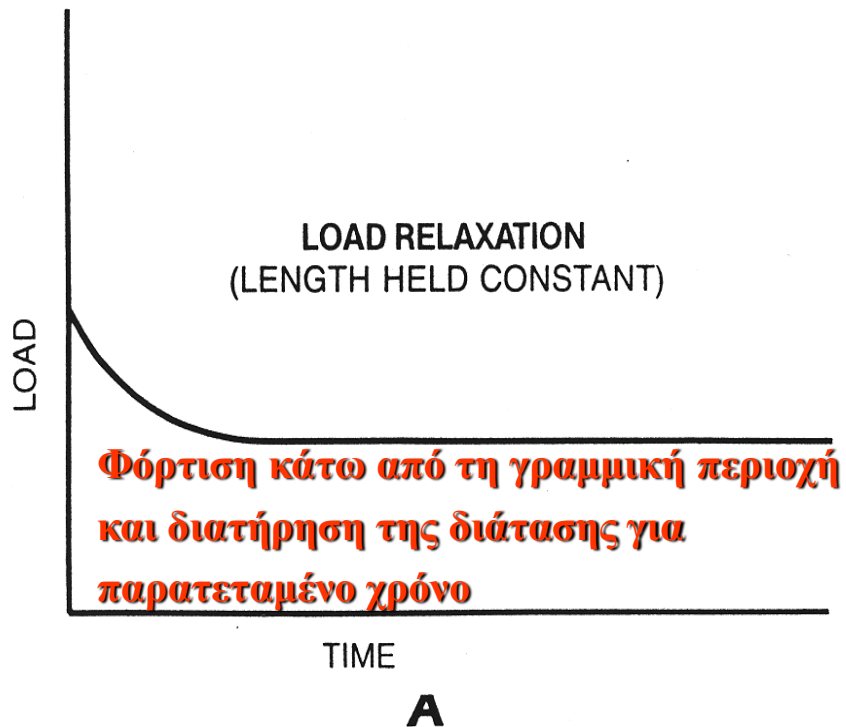
**ομοιότητα** του μηχανισμού κάκωσης για σύνδεσμο και τένοντα, αλλά δύο πρόσθετοι παράγοντες που αφορούν τον τένοντα λόγω της **σύνδεσης του με το μυ**

## ΓΙΑΤΙ?

- **ΠΡΩΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΝ** : καθώς συσπάται ο μυς, η περιοχή σύνδεσης μυ – τένοντα αυξάνεται
- **ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΠΑΡΑΓΩΝ** : όσο μεγαλύτερη η περιοχή σύνδεσης στο μυ, τόσο μεγαλύτερη η ένταση της δύναμης και μεγαλύτερα τα εκτατικά φορτία που μεταδίδονται μέσω του τένοντα



# Γλοιοελαστική συμπεριφορά τενόντων και συνδέσμων



Δύο τεστ για τον προσδιορισμό της γλοιοελαστικής συμπεριφοράς τενόντων και συνδέσμων είναι το **τεστ χαλάρωσης της τάσης** και το **τεστ παραμόρφωσης**

# Παράγοντες που επηρεάζουν τις εμβιομηχανικές ιδιότητες

## Περιλαμβάνουν

- Ωρίμανση και ενηλικίωση
- Περίοδος κύησης και μετά τον τοκετό
- Μη στεροειδή αντιφλεγμονώδη φάρμακα (NSAD)
- Κινητοποίηση και ακινητοποίηση

# Ωρίμανση και ενηλικίωση

- Κατά την ενηλικίωση (έως τα 20), ο αριθμός και η ποιότητα των δομικών συνδέσεων αυξάνει, με αποτέλεσμα την αυξημένη διαστατική ικανότητα τενόντων και συνδέσμων
- Παρατηρείται επίσης μία αύξηση στη διάμετρο των κολλαγόνων ινιδίων.
- Η ποσότητα κολλαγόνου σε τένοντες και συνδέσμους μειώνεται με την ηλικία συνεισφέροντας στην σταδιακή έκπτωση των εμβιομηχανικών ικανοτήτων τους.



# Περίοδος κύησης και μετά τον τοκετό

- Ο Rundgren βρήκε ότι **Η ΕΚΤΑΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ** των τενόντων και της ηβικής σύμφυσης σε ποντίκια **ελαττώνεται κατά την περίοδο της κύησης και μετά τον τοκετό (1974)**.
- Η σκληρότητα αυτών των δομών μειώνεται κατά την **περίοδο αμέσως μετά τον τοκετό** αλλά επανέρχεται σταδιακά

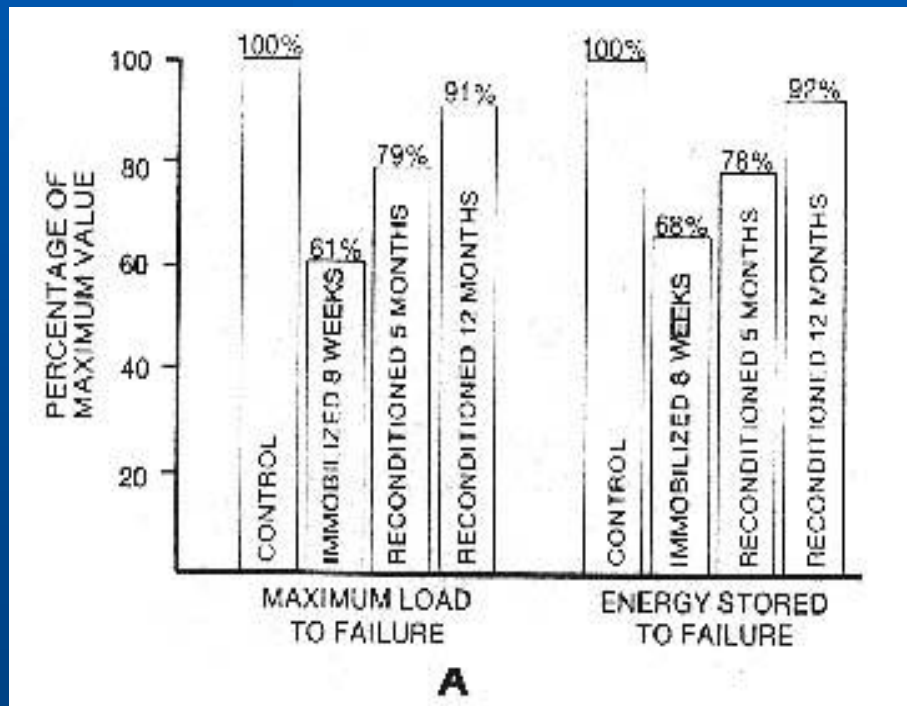
# Μη στεροειδή αντιφλεγμονώδη φάρμακα

(NSAD)

- Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs (NSAIDs)
  - aspirin, acetaminophen, indomethacin
- Μικρές δοσολογίες NSAIDs δεν είναι επιβαρυντικές για την επούλωση του τένοντα και μπορεί να συνεισφέρουν στη αποκατάσταση της εμβιομηχανικής του συμπεριφοράς ??

# Κινητοποίηση και ακινητοποίηση (I)

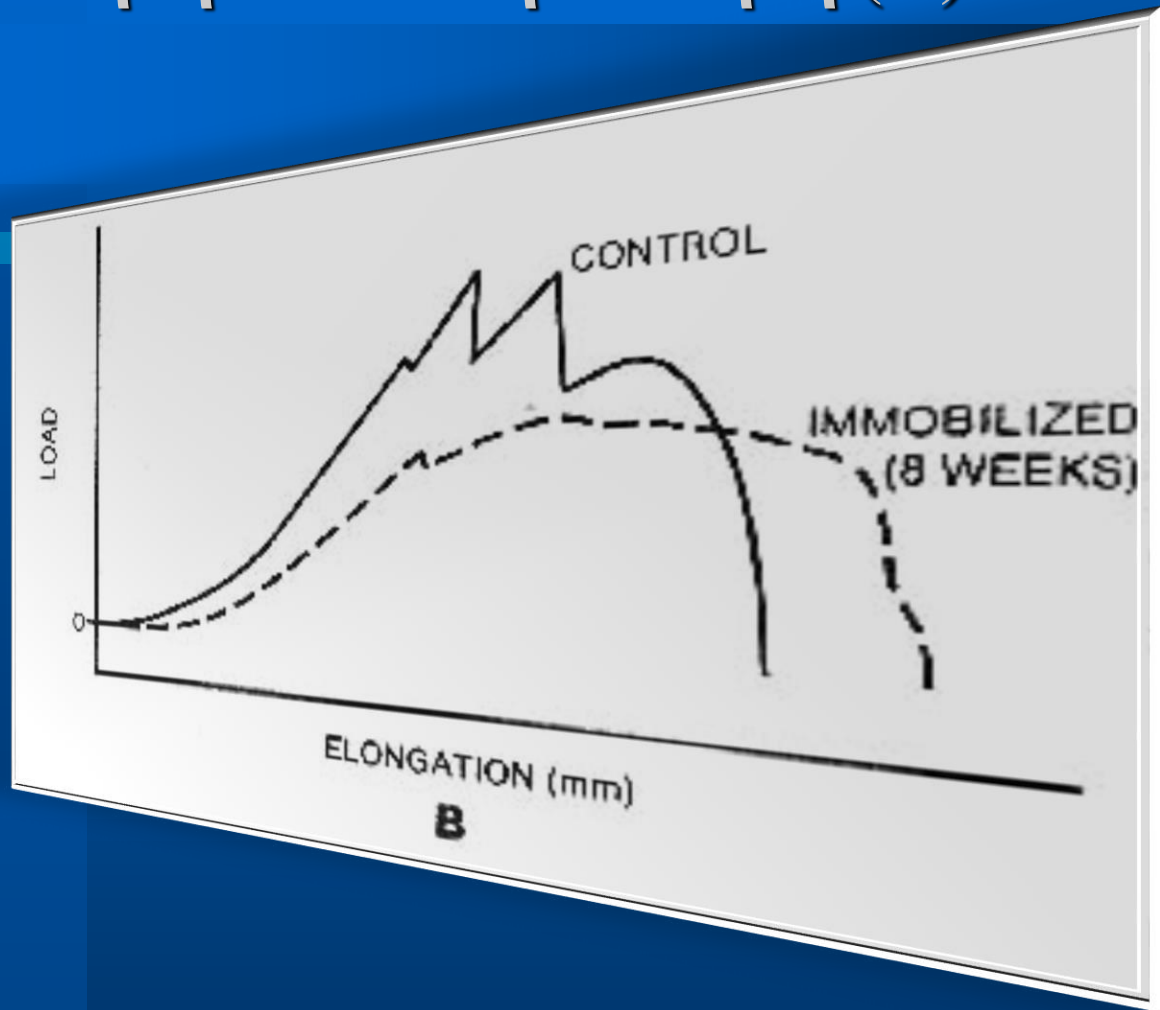
- Όπως τα οστά, οι σύνδεσμοι και οι τένοντες φαίνεται να αποδομούνται ανάλογα των μηχανικών φορτίσεων (π.χ. αστροναύτες)
- Η φυσική άσκηση έχει δείξει πως αυξάνει την εκτατική δύναμη των τενόντων και της περιοχής πρόσφυσης του συνδέσμου στο οστό



- 1) Αυτοί που ακινητοποιούνται σε νάρθηκες για 8 εβδομάδες
- 2) Αυτοί που ακινητοποιούνται για 8 εβδομάδες και δίνεται πρόγραμμα αποκατάστασης για 5 μήνες
- 3) Αυτοί που ακινητοποιούνται για 8 εβδομάδες και δίνεται πρόγραμμα αποκατάστασης για 12 μήνες

Maximal load to failure and energy stored to failure for primate anterior cruciate ligaments tested in tension to failure

## Κινητοποίηση και ακινητοποίηση (II)



Σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου, οι σύνδεσμοι που ακινητοποιήθηκαν για 8 εβδομάδες παρουσιάζουν μικρότερη σκληρότητα και μεγαλύτερη επιμήκυνση



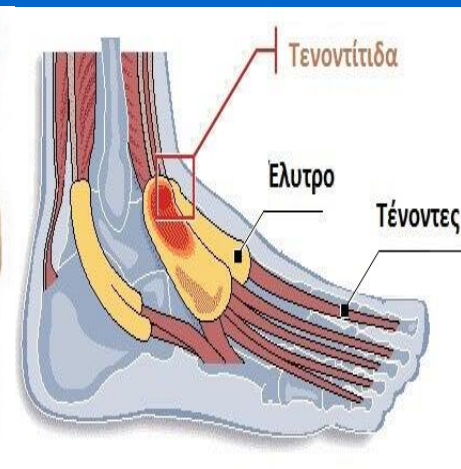
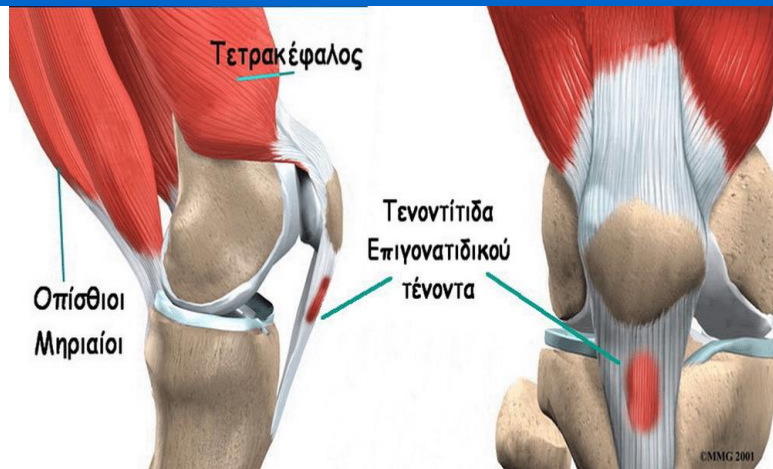
Μαγνητική τομογραφία



Τενοντοπάθεια I βαθμού



Τενοντοπάθεια III βαθμού



# Τενοντοπάθειες και Ρίζεις τενόντων και συνδέσμων

