



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Συγκριτική Αξιολόγηση
Χειρουργικών Μεθόδων Αποκατάστασης
Χρόνιων Ρήξεων Υπερακανθίου Τένοντα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ελένης Κουμάντου

Επιβλέπων: Σταύρος Κουρकुουλής

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Συγκριτική Αξιολόγηση
Χειρουργικών Μεθόδων Αποκατάστασης
Χρόνιων Ρήξεων Υπερακανθίου Τένοντα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ελένης Κουμάντου

Επιβλέπων: Σταύρος Κουρκουλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 29^η Φεβρουαρίου 2024

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....
Σταύρος Κουρκουλής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ερμιόνη Πάσιου
Επ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Αλέξανδρος Αντωνίου
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2024



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών
Εφαρμογών

Copyright © - All rights reserved. Με την επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Ελένη Κουμάντου, 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Το περιεχόμενο αυτής της εργασίας δεν απηχεί απαραίτητα τις απόψεις του Τμήματος, του Επιβλέποντα, ή της επιτροπής που την ενέκρινε.

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας, και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η διπλωματική εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

(Υπογραφή)

.....
Ελένη Κουμάντου

Ευχαριστίες

Η ενασχόληση με τον κλάδο της Εμβιομηχανικής αποτελεί όνειρο για μένα από τα πρώτα μου βήματα στο χώρο των σπουδών, στη Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών. Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον Καθηγητή Κουρκουλή Σταύρο, ο οποίος άκουσε με προσοχή την επιθυμία μου και μου εμπιστεύθηκε την ευθύνη μίας πειραματικής εργασίας. Η υποστήριξή του υπήρξε καθοριστική για την εξέλιξη και την ολοκλήρωση της εργασίας μου.

Επιπλέον, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Επίκουρη Καθηγήτρια Ερμιόνη Πάσιου και τον Χριστόφορο Φερουόση, για την πολύτιμη συνεργασία και την αμέριστη υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης των πειραμάτων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένειά μου και τους φίλους μου, για την αστείρευτη υπομονή, την αμέριστη συμπαράσταση και την αδιαπραγμάτευτη ενθάρρυνσή τους. Η βοήθειά τους ήταν πολύτιμη και μου έδωσε δύναμη να συνεχίσω σε δύσκολες στιγμές.

Χάρη σε όλους αυτούς τους ανθρώπους, κατάφερα να ολοκληρώσω με επιτυχία την εργασία μου και να κάνω ένα βήμα προς την υλοποίηση του ονείρου μου.

Ευχαριστώ θερμά!

Περίληψη

Για την αποκατάσταση χρόνιων ρήξεων υπερακανθίου τένοντα συχνά χρησιμοποιείται αλλομόσχευμα πλατείας περιτονίας ή άλλα αλλομοσχεύματα. Ο συνδυασμός αλλομοσχεύματος πλατείας περιτονίας με την έγχυση βλαστοκυττάρων μεσεγχοματικής προέλευσης από αρθρικό υμένα, μπορεί να ενισχύσει την αποκατάσταση των χρόνιων ρήξεων του υπερακανθίου.

Η παρούσα εργασία μελετά τις ιδιότητες επούλωσης μεταξύ των δύο μεθόδων, ενώ εξετάζει την προαναφερθείσα υπόθεση από εμβιομηχανικής σκοπιάς. Συνολικά, 6 ενήλικοι αρσενικοί κόνικλοι χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία ενός μοντέλου χρόνιας ρήξης υπερακανθίου. Όλοι οι κόνικλοι χειρουργήθηκαν στο δεξιό ώμο, με σκοπό τη δημιουργία της ρήξης. Η τελευταία αποκαταστάθηκε μετά το πέρας 6 εβδομάδων – ώστε οι ρήξεις να θεωρηθούν χρόνιες – είτε με χρήση αλλομοσχεύματος πλατείας περιτονίας είτε με το συνδυασμό αυτής με έγχυση βλαστοκυττάρων. Οι αριστεροί ώμοι χρησιμοποιήθηκαν ως ομάδα ελέγχου. Οι κόνικλοι θυσιάστηκαν 12 εβδομάδες μετεγχειρητικά για εμβιομηχανική αξιολόγηση μετρώντας το μέγιστο φορτίο καθώς και το μέτρο στιβαρότητας.

Τα αποτελέσματα της εμβιομηχανικής ανάλυσης έδειξαν ότι η ομάδα MSC εμφάνισε καλύτερα αποτελέσματα στο μέγιστο εφελκυστικό φορτίο, παρότι παρέμειναν χαμηλότερα της ομάδας ελέγχου, ενώ η στιβαρότητα κυμάνθηκε στις ίδιες περιοχές και στις δύο ομάδες.

Η σταθεροποίηση βλαστοκυττάρων φάνηκε να βελτιώνει τη μηχανική αντοχή του υπερακανθίου, παρόλ' αυτά η στιβαρότητα των χειρουργημένων δοκιμίων ήταν συγκρίσιμη και στις δύο ομάδες. Η μέθοδος αυτή θα μπορούσε να αποτελέσει μία ιατρική πρακτική, όμως πριν την οριστική διατύπωση συμπερασμάτων απαιτείται να υλοποιηθούν συμπληρωματικές κλινικές δοκιμές.

Λέξεις Κλειδιά:

Εμβιομηχανική, Ρήξη υπερακανθίου, Βλαστοκύτταρα, MSC, TFL

Abstract

In the treatment of chronic irreparable rotator cuff (RC) tears, the superior capsule of the shoulder is reconstructed using tensor fascia lata (TFL) or several other allografts. A TFL scaffold with seeded mesenchymal stem cells (MSCs) may enhance the expression of type I collagen products and increase the mechanical strength of the regenerated tendon. The study compared the healing qualities between these two methods and examined the hypothesis from a biomechanical perspective.

A total of 6 skeletally mature male rabbits were used to create a chronic retracted RC tear model. A tendon defect was created at the right shoulder of each subject and was reconstructed 6 weeks later using a TFL allograft either with or without MSCs embedded. The left shoulders were used as the control group. The rabbits were sacrificed at 12 weeks postoperatively for biomechanical evaluation by measuring the ultimate failure load and stiffness of each group.

The results of the biomechanical analysis revealed that the tensile strength of the MSC group was higher than the respective one of the TFL group, however, both remained lower than the non-operated group. The mean stiffness values were also significantly higher in the non-operated samples than in both operated groups.

Bone marrow MSCs increased the mechanical strength of the supraspinatus tendon, however, the stiffness was similar between the operated groups in rabbit models. The

rotator cuff regeneration using MSCs could be a feasible procedure in the future; however, more clinical evidence is required.

Key Words:

Biomechanics, Supraspinatus Tear, Stem Cells, MSC, TFL

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	ii
Περίληψη.....	iii
Abstract.....	v
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	0
1.1. Εισαγωγή.....	1
1.2. Εμβιομηχανική.....	3
1.3. Ιστορική αναδρομή.....	6
Κεφάλαιο 2 Το σύμπλεγμα του ώμου.....	10
2.1. Εισαγωγή.....	11
2.2. Ανατομία του ώμου.....	14
2.3. Κινησιολογία.....	22
2.4. Μηχανική βιολογικών ιστών.....	29
Κεφάλαιο 3 Στοιχεία Μηχανικής.....	34
3.1. Θεωρία Μηχανικής.....	35
3.2. Το διάγραμμα $\sigma - \epsilon$	38
3.3. Ιξωδοελαστικότητα.....	40
Κεφάλαιο 4 Πειραματική Διαδικασία.....	43
4.1. Πειραματικό Πρωτόκολλο.....	44
4.2. Πειραματική Διαδικασία.....	51
4.3. Επεξεργασία Πρωτογενών Δοκιμών.....	55

Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα	60
5.1. Εμβιομηχανικά Αποτελέσματα	61
5.2. Συμπεράσματα	67
5.3. Συζήτηση Αποτελεσμάτων	68
5.4. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	70
Παράρτημα Α Πρωτογενή Δεδομένα	72
Παράρτημα Β Γραφήματα Δεδομένων	105
Παράρτημα Γ Κώδικας	126
Παράρτημα Δ Βιβλιογραφία	161
Βιβλιογραφία	162



Κεφάλαιο 1 | Εισαγωγή

1.1. Εισαγωγή

Ο υπερακάνθιος είναι ένας από τους τέσσερις μύες που απαρτίζουν το στροφικό πέταλο του ώμου. Εκφύεται από τον υπερακάνθιο βόθρο της ωμοπλάτης και καταφύεται στο μείζον βραχιόνιο όγκωμα. Η αυξημένη συχνότητα εμφάνισης υποτροπής της χειρουργικής αποκατάστασης της ρήξης οδήγησε στην προσπάθεια ανεύρεσης μεθόδων που μπορούν να ενισχύσουν και να βελτιστοποιήσουν τη διαδικασία της επούλωσης και επομένως τη μηχανική αντοχή. Για το σκοπό αυτό έχει χρησιμοποιηθεί πλήθος βιολογικών παραγόντων (πλάσμα πλούσιο σε αιμοπετάλια, αυξητικοί παράγοντες, βιοϋλικά) αλλά και μηχανικών υποστηριγμάτων (ξενομοσχεύματα, αλλομοσχεύματα, συνθετικά μοσχεύματα) με ποικίλα αποτελέσματα.

Η έγχυση βλαστοκυττάρων μεσεγχυματικής προέλευσης από ενήλικες (adult derived mesenchymal stem cells - MSC) αποτελεί ενεργό πεδίο έρευνας με ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Βλαστοκύτταρα που προέρχονται από το μυελό των οστών έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές πειραματικές αλλά και κλινικές μελέτες, καθώς είναι εύκολα προσβάσιμα. Θετικά ήταν επίσης τα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιήθηκαν πολυδύναμα βλαστοκύτταρα που προέρχονται από το λιπώδη ιστό σε κουνέλια, όπου βελτιώθηκε η μυϊκή λειτουργία και μειώθηκε η λιπώδης διήθηση.

Αρκετά ακόμα σημεία απομόνωσης μεσεγχυματικών βλαστοκυττάρων έχουν μελετηθεί, όπως ο αρθρικός θύλακος, μύες και τένοντες με ποικίλα αποτελέσματα που υποδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα. Ο τρόπος χορήγησης των βλαστοκυττάρων στο σημείο της ένθεσης, καθώς και η διατήρησή τους εκεί για ικανό χρονικό διάστημα έχουν επίσης μεγάλη σημασία.

Η μηχανική υποστήριξη της συρραφής της βλάβης είναι ακόμη ένα πεδίο που έχει απασχολήσει αρκετά τους ερευνητές τα τελευταία χρόνια, λόγω της αυξημένης συχνότητας μεγάλων ρήξεων που η άμεση συρραφή του τένοντα στο οστόν καθίσταται δύσκολη ή και αδύνατη. Στην προσπάθεια ανεύρεσης του κατάλληλου υλικού που θα βοηθήσει στην κάλυψη του χάσματος και την αποφόρτιση της αυξημένης τάσης που σχετίζεται με αυξημένο ποσοστό επαναρρήξεων, έχουν χρησιμοποιηθεί ξενομοσχεύματα (βλεννογόνος λεπτού εντέρου χοίρου, εξωκυττάριο στρώμα δέρματος χοίρου), αλλομοσχεύματα (πτωματικό ακυτταρικό στρώμα δέρματος, πλατεία περιτονία), αλλά και συνθετικά υλικά (πολυγλυκολικό οξύ – PGA, πολύ-γαλακτικό-γλυκολικό οξύ - PGLA). Αλλομόσχευμα πλατείας περιτονίας έχει χρησιμοποιηθεί τόσο σε πειραματικές μελέτες όσο και στην κλινική πράξη με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Για την επίτευξη της μέγιστης μηχανικής και βιολογικής ενίσχυσης των μεγάλων ρήξεων του υπερακανθίου μυός, ο συνδυασμός της μηχανικής ενίσχυσης με μόσχευμα και έγχυση βλαστοκυττάρων θα μπορούσε να εμφανίσει καλύτερα αποτελέσματα από την απλή ενίσχυση με μόσχευμα. Η πλατεία περιτονία είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται στην κλινική πράξη και η ανεύρεση μεθόδων που μπορούν να βελτιστοποιήσουν τα αποτελέσματα από τη χρήση της είναι ωφέλιμη για την αποκατάσταση των μεγάλων ρήξεων του υπερακανθίου τένοντα του στροφικού πετάλου του ώμου.

Στη μελέτη αυτή, γίνεται μια προσπάθεια να συνδυαστεί η πλατεία περιτονία (προσφέροντας μηχανική αντοχή και δυνατότητα κάλυψης του χάσματος) μαζί με βλαστοκύτταρα προερχόμενα από αρθρικό υμένα ώστε να ενισχυθεί η αποκατάσταση της ρήξης του υπερακανθίου.

1.2. Εμβιομηχανική

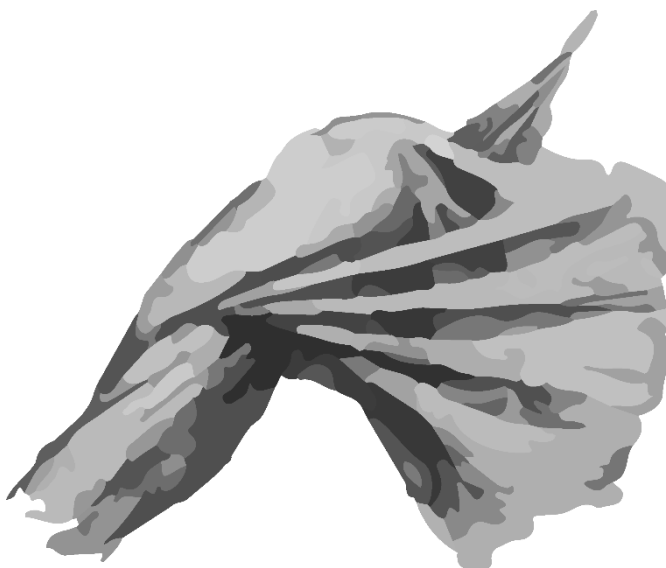
Η Εμβιομηχανική, ως διεπιστημονικός τομέας, περιλαμβάνει την εφαρμογή των αρχών της Μηχανικής στη μελέτη των έμβιων συστημάτων. Αφορά ένα ευρύ φάσμα θεμάτων και διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην κατανόηση της μηχανικής των ζωντανών οργανισμών. Στην ουσία, η εμβιομηχανική είναι ο συνδυασμός της Μηχανικής και των βιοεπιστημών, χρησιμοποιώντας αρχές από την κλασική μηχανική για περαιτέρω εμβάθυνση στη δυναμική των βιολογικών δομών και λειτουργιών.

Το κίνητρο για την ενασχόληση στην Εμβιομηχανική προκύπτει από τη συνειδητοποίηση ότι η βιολογία δεν μπορεί να κατανοηθεί πλήρως χωρίς να ληφθούν υπόψη οι μηχανικές πτυχές που είναι εγγενείς στα βιολογικά συστήματα. Όπως η αεροδυναμική είναι απαραίτητη στο σχεδιασμό και την πρόβλεψη της απόδοσης των αεροπλάνων, η εμβιομηχανική μας δίνει τη δυνατότητα να κατανοήσουμε την κανονική λειτουργία των οργανισμών, να προβλέψουμε τις αλλαγές που προκύπτουν και να προτείνουμε παρεμβάσεις.

Όπως ορίζεται από τον Humphrey (2002), η Εμβιομηχανική (biomechanics) αποτελεί την ανάπτυξη, επέκταση και εφαρμογή των νόμων της φυσικής και των αρχών της μηχανικής στη μελέτη της δομής και της λειτουργίας έμβιων συστημάτων όπως ο άνθρωπος, τα ζώα, τα φυτά, μεμονωμένα όργανα και κύτταρα υπό την επίδραση δυνάμεων και εξωτερικών ερεθισμάτων με σκοπό την απάντηση σημαντικών ερωτημάτων της βιολογίας και της ιατρικής. Πολλά βιοφυσικά φαινόμενα που συντελούνται τόσο σε μοριακό και κυτταρικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο ιστών, οργάνων και οργανισμών μπορούν να κατανοηθούν και να αφομοιωθούν μόνο μέσω

αυτής. Οι λόγοι αυτοί κάνουν το συγκεκριμένο αντικείμενο τόσο σημαντικό αλλά και τόσο ενδιαφέρον.

Παράλληλα, ο Enderle (2012) τονίζει ότι η Εμβιομηχανική συνδυάζει αρχές από την κλασική Μηχανική με τη μελέτη των ζωντανών συστημάτων. Από το συνδυασμό αυτό προκύπτουν ποικίλα θέματα όπως η αντοχή των βιολογικών υλικών, οι αλληλεπιδράσεις των ιατρικών εμφυτευμάτων με το σώμα, η μεταφορά θερμότητας και μάζας καθώς και η κινητική που εφαρμόζεται στη μελέτη του ανθρώπινου βαδίσματος. Το ειτεταμένο εύρος εφαρμογής του πεδίου αντικατοπτρίζει την ποικιλομορφία που ενυπάρχει σε βιολογικούς οργανισμούς και συστήματα.



Εικόνα 0.1.1 Μία αναπαράσταση από την ανατομία «Anatomical Manuscript A» (1510) του Leonardo Da Vinci.



Εικόνα 1.2 Χρονοδιάγραμμα επιστημόνων με συμβολή στον τομέα της Εμβιομηχανικής

1.3. Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία της Εμβιομηχανικής διαδραματίζεται από την ελληνική αρχαιότητα μέχρι τις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις και χαρακτηρίζεται από τη συμβολή μεγάλων επιστημόνων. Από τις αρχαίες ιδέες του Αριστοτέλη έως τις σύγχρονες εξελίξεις, κάθε πρόσωπο έπαιξε κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση της κατανόησής μας για το πεδίο της Εμβιομηχανικής.

Αριστοτέλης
(384-322 π.Χ.)

Στα θεμελιώδη έργα του παρείχε μια περιεκτική περιγραφή της ανατομίας και της λειτουργίας των εσωτερικών οργάνων. Πέρα από ορισμένες παρανοήσεις, η ακριβής ανάλυσή του για την περισταλτική κίνηση του ουρητήρα έδειξε τις έντονες παρατηρητικές του ικανότητες. Συνολικά, η προσφορά του αναπτύσσεται στη σειρά των έργων του «Περί Ζώων»:

Των περί τα ζώα ιστοριών

Περί ζώων γενέσεως

Περί ζώων κινήσεως

Περί ζώων μορίων

Περί πορείας ζώων

Nei Jing
(472-221 π.Χ.)

Ανώνυμοι συγγραφείς κατά τη διάρκεια της εμπόλεμης περιόδου 475–221 π.Χ. εξερεύνησαν την έννοια της κυκλοφορίας τόσο στο ανθρώπινο σώμα όσο και στο σύμπαν. Στο κείμενο τους εξετάζεται η ροή του αίματος στα αγγεία ενώ παράλληλα τονίζει ότι όλα προέρχονται από την καρδιά. Αυτό το αρχαίο κείμενο αναγνώριζε τη σχέση μεταξύ αρμονίας ή δυσαρμονίας με το περιβάλλον και την υγεία κάποιου, θέτοντας τις βάσεις για συζητήσεις σχετικά με τον βελονισμό και τη διάγνωση παλμικών κυμάτων.

Κλαύδιος Γαληνός
(129-199)

Εστίασε στη μελέτη της κίνησης και αναγνώρισε την ανάγκη για συστολή των μυών για την παραγωγή της κίνησης. Η μελέτη του παρουσιάζεται στο έργο «De motu muscularum».

Leonardo da Vinci (1452-1519)	Γνωστός για τις πρωτοποριακές συνεισφορές του, παρείχε τις πρώτες ακριβείς περιγραφές των αρθρώσεων ball and socket. Τα λεπτομερή σχέδιά του, που απεικονίζουν μηχανικές δυνάμεις κατά μήκος των μυϊκών νημάτων, έθεσαν το υπόβαθρο για την κατανόηση της αρθροκινηματικής.
Andreas Vesalius (1514-1564)	Το έργο του «De Humani Corporis Fabrica», προσέφερε μια πιο ακριβή απεικόνιση του ανθρώπινου μυϊκού συστήματος και διευκρίνισε ότι η κίνηση προκύπτει από τη συστολή των μυών.
Galileo Galilei (1564-1642)	Σπούδασε ιατρική και φυσική, ενσωμάτωσε τη μέτρηση και την παρατήρηση στην επιστήμη και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα μαθηματικά είναι ένα ουσιαστικό εργαλείο της επιστήμης. Οι αναλύσεις του περιλάμβαναν την εμβιομηχανική του αίματος και την ανάλυση βάδισης αλόγων και εντόμων, καθώς και ανάλυση διαστάσεων οστών ζώων.
Santorio Santorio (1561-1636)	Χρησιμοποίησε τη μέθοδο μέτρησης και ανάλυσης του Γαλιλαίου και διαπίστωσε ότι το ανθρώπινο σώμα αλλάζει βάρος με το χρόνο, παρατήρηση που οδήγησε στη μελέτη του μεταβολισμού.
William Harvey (1578-1657)	Έθεσε τα θεμέλια για τη σύγχρονη θεώρηση της κυκλοφορίας κλειστής ροής μεταξύ αρτηριών και φλεβών, με τα πειραματικά του ευρήματα.
Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679)	Μελέτησε τη δυναμική του σώματος και τη μυϊκή σύσπαση.
Robert Hooke (1635-1703)	Εξήγαγε το «Νόμο του Hooke» μεταξύ τάσης και παραμόρφωσης στα ελαστικά στερεά και χρησιμοποίησε τον όρο «κύτταρο» στη βιολογία.
Jan Swammerdam (1637-1680)	Παρουσίασε τη σχέση νεύρου-μυός, μέσω της διέγερσης του σχετικού νεύρου στο πόδι του βατράχου.
Nicholas Andre (1658-1742)	Επινόησε τον όρο «ορθοπαιδική» σε ηλικία 80 ετών και θεώρησε την εκτενής χρήση της για την περιγραφή της κίνησης των

άκαμπτων σωμάτων.

Stephen Hales
(1677-1761)

Πιθανότατα ο πρώτος που μέτρησε την αρτηριακή πίεση.

Leonard Euler
(1707-1783)

Γενίκευσε τους νόμους κίνησης του Νεύτωνα σε εξισώσεις για το συνεχές μέσο.

Thomas Young
(1773-1829)

Μελέτησε τις δονήσεις σε σχέση με τη φωνή, την κυματική θεωρία του φωτός, ενώ παρουσίασε και το μέτρο ελαστικότητας του Young.

Ernst Weber
(1795-1878)
Eduard Weber
(1806-1871)

Δημοσίευσαν το έργο τους Die Mechanik der menschlichen Werkzeugzeuge (Σχετικά με τη μηχανική των εργαλείων της ανθρώπινης βιάδισης) το 1836, πρωτοπορώντας στην επιστημονική μελέτη του σχετικού πεδίου.

Hermann von
Helmholtz
(1821-1894)

Μελέτησε μια σειρά θεμάτων όπως οπτική, ακουστική, θερμοδυναμική, συμπεριλαμβανομένης της ρευστομηχανικής και της θερμοότητας της μυϊκής συστολής, συμβάλλοντας σημαντικά στη διεπιστημονική φύση της εμβιομηχανικής.

Etienne Marey
(1830-1904)

Ανέλυσε κίνηση διαφόρων οργανισμών όπως π.χ. αλόγων, πουλιών, εντόμων και ανθρώπων. Οι εφευρέσεις του, όπως οι πλάκες δύναμης και οι κινηματογραφικές μηχανές (Chronophotographie a pellicule), έφεραν επανάσταση στη μελέτη της εμβιομηχανικής.

Wilhelm Braune &
Otto Fischer
(έρευνα 1895-1904)

Το έργο τους Der Gang des Menschen (The Human Gait), έπαιξε καθοριστικό ρόλο στη μαθηματική ανάλυση του ανθρώπινης κίνησης. Οι εφευρέσεις τους, όπως η κυκλογραφία και η χρήση πολλαπλών καμερών για την ανακατασκευή δεδομένων κίνησης 3-D, έθεσαν τις βάσεις για τη σύγχρονη εμβιομηχανική έρευνα.



Κεφάλαιο 2 | Το σύμπλεγμα του ώμου

2.1. Εισαγωγή

Η μελέτη της κίνησης του σώματος ως σύνολο οφείλει να περιλαμβάνει κάποια κατανόηση των βασικών συστατικών της. Το **οστόν** προσφέρει την άκαμπτη οργανωτική δομή για το στήριγμα του σώματος (ερειστικό σύστημα). Εκεί όπου τα οστά του σκελετού συναντώνται, οι συνδετικοί ιστοί είναι οργανωμένοι για να δέσουν τα οστά μαζί και να σχηματίσουν **αρθρώσεις** (joints) του σκελετικού συστήματος που του παρέχουν κινητικότητα και κάποιο βαθμό ευστάθειας. Πυκνός και ινώδης ιστός πλούσιος σε κολλαγόνες ίνες περιβάλλει τα άκρα των οστών, επιτρέποντας την παραγωγή κίνησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι το υψηλό επίπεδο κινητικότητας επιτυγχάνεται εις βάρος της ευστάθειας και τρωτότητας σε τραυματισμούς. Επίσης, ο **χόνδρος** σχηματίζει μία συμπίεστη σύνδεση ανάμεσα σε δύο οστά και προσφέρει μία επιφάνεια χαμηλής τριβής για ομαλή κίνηση. Ο συνδετικός ιστός επίσης προσφέρει μύες στο οστόν, είτε υπό μορφή **τένοντος** ή υπό μορφή **επίπεδης περιτονίας**.

Οι αρθρώσεις του σκελετικού συστήματος μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη δομή και τη λειτουργία τους,

- **Συναρθρικές** (synarthrodial joints): δεν επιτρέπουν τη σχετική κίνηση των οστών που τις σχηματίζουν π.χ. τα οστά του κρανίου.
- **Αμφιαρθρικές** (amphiarthrodial joints): επιτρέπουν ελαφρές σχετικές κινήσεις π.χ. οι κινήσεις των σπονδύλων στη σπονδυλική στήλη.
- **Διαρθρικές** (diarthrodial joints): επιτρέπουν μεταβαλλόμενο βαθμό σχετικής κίνησης, π.χ. η άρθρωση του γόνατος. Οι επιφάνειες, όπως αρθρώνονται τα οστά μεταξύ τους, λέγονται αρθρικές επιφάνειες (articular surfaces) και τις σκεπάζει ένα στρώμα από αρθρικό χόνδρο (articular cartilage). Αποτελεί έναν

ιστό που αυξάνει την κατανομή του φορτίου στις αρθρώσεις και παρέχει επιφάνεια αντίστασης που απορροφά τους κραδασμούς. Η κοιλότητα που αφήνουν ανάμεσά τους οι αρθρικές επιφάνειες ονομάζεται αρθρική κοιλότητα (articular cavity). Ολόκληρη η διάρθρωση περιβάλλεται από έναν ινώδη σάκο, τον αρθρικό θύλακο (articular capsule). Τα οστά συνδέονται μεταξύ τους με τον αρθρικό θύλακο και με διάφορες ταινιωδείς παχύνσεις που λέγονται σύνδεσμοι (ligaments). Ο αρθρικός θύλακος στην εσωτερική του επιφάνεια καλύπτεται από μια λεπτή μεμβράνη που λέγεται αρθρικός υμένας (synovial membrane). Αυτός εκκρίνει το αρθρικό υγρό (synovial fluid) ρόλος του οποίου είναι να κάνει τις αρθρικές επιφάνειες να γλιστρούν, ώστε να ελαττώνονται οι τριβές.

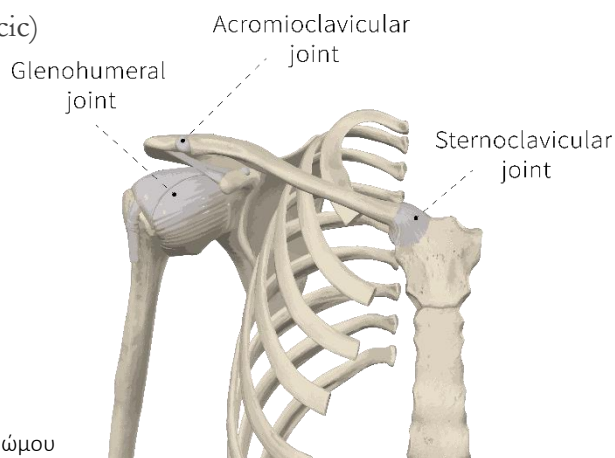
Εναλλακτικά, με βάση το είδος των ειδικών συνδετικών ιστών που τους αποτελούν, οι αρθρώσεις μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες.

- **Ινώδεις** αρθρώσεις: Είναι εκείνες στις οποίες τα οστά συνδέονται με πυκνό ινώδη συνδετικό ιστό.
- **Χόνδρινες** αρθρώσεις: Σε αυτές τις αρθρώσεις τα οστά συνδέονται με χόνδρο.
- **Υμενώδεις** αρθρώσεις: Αυτές είναι ευκίνητες αρθρώσεις του σώματος, όπου οι δύο άκρες των οστών περιβάλλονται από ένα θύλακα πυκνού ινώδους ιστού.

Σημειώνεται ότι η λειτουργία μιας άρθρωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: τον τρόπο που αρθρώνονται οι επιφάνειες, τις ιδιότητες των θυλάκων, τη δομή και το μήκος των συνδέσμων γύρω από την άρθρωση και τον αριθμό και τον προσανατολισμό των μυών που συνέρχονται στην άρθρωση.

Οι αρθρώσεις του ώμου, επιγραμματικά, είναι οι ακόλουθες:

- **Στερνοκλειδική** (Sternoclavicular)
- **Ακρωμιοκλειδική** (Acromioclavicular)
- **Ωμοπλατο-θωρακική** (Scapulothoracic)
- **Γληνοβραχιόνια** (Glenohumeral)



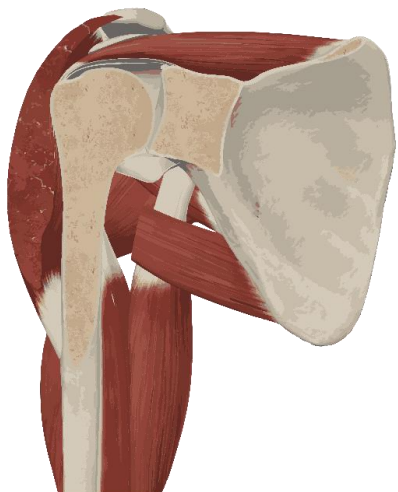
Εικόνα 2.1 Οι αρθρώσεις στο σύμπλεγμα του ώμου

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης αποτελεί η **γληνοβραχιόνια άρθρωση**, μία εκ των τεσσάρων του συμπλέγματος του ώμου, γι' αυτό και εξετάζεται εκτενώς στη συνέχεια.

Γληνοβραχιόνια άρθρωση | Glenohumeral joint

Η άρθρωση του ώμου χαρακτηρίζεται ως ball and socket και σχηματίζεται μεταξύ της ημισφαιρικής βραχιόνιας κεφαλής (ball) και της αβαθούς γλύνης (glenoid fossa). Η

δομή αυτή δίνει μεγάλη ελευθερία κίνησης στην κεφαλή του βραχιονίου και στα τρία επίπεδα κίνησης. Ωστόσο, υπάρχει κόστος από πλευράς αστάθειας και τραυματισμών, π.χ. εξάρθρηματα. Η ευστάθεια εξασφαλίζεται από τους συνδέσμους και τους μύες που διασταυρώνονται στην άρθρωση.

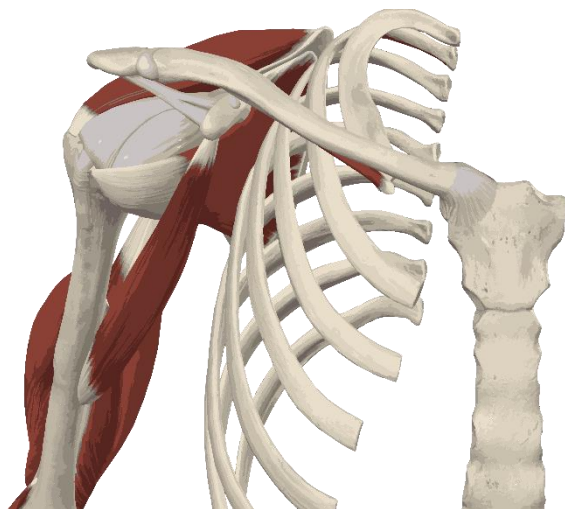


Εικόνα 2.2 Τομή της γληνοβραχιόνιας άρθρωσης όπου αποτυπώνονται τα οστά, οι σύνδεσμοι και οι μύες που την αποτελούν

2.2. Ανατομία του ώμου

Όμος: εγγύς τμήμα του άκρου που επικαλύπτει μέρος του κορμού (θώρακα και πλάτη) και του κάτω πλευρικού αυχένα. Περιλαμβάνει περιοχές του θώρακα, της ωμοπλάτης και του δελτοειδή του άνω άκρου, και το πλάγιο τμήμα (υπεριλείδιος βόθρος) της πλάγιας τραχηλικής περιοχής. Καλύπτει το ήμισυ της θωρακικής ζώνης. Η θωρακική ζώνη (ζώνη ώμου) είναι ένας οστέινος δακτύλιος, οπίσθια ατελής, που σχηματίζεται από τις ωμοπλάτες και τις κλείδες και ολοκληρώνεται εμπρός από τη λαβή του στέρνου (τμήμα του αξονικού σκελετού). [Moore, 2018]

Το σύμπλεγμα του ώμου χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο τεσσάρων μηχανικά αλληλένδετων αρθρώσεων που περιλαμβάνουν το **στέρνο**, την **κλείδα**, τις **πλευρές**, την **ωμοπλάτη** και το **βραχιόνιο οστό**. Οι αρθρώσεις αυτές, επιτρέπουν ένα μεγάλο εύρος κίνησης στο άνω άκρο. Γι' αυτές οι μύες του ώμου «συνεργάζονται» για την παραγωγή συντονισμένων ενεργειών σε πολλαπλές αρθρώσεις, γεγονός που αυξάνει την ευελιξία, τον έλεγχο και το εύρος των κινήσεων. Αδυναμία ή μειωμένη ενεργοποίηση οποιουδήποτε μεμονωμένου μύος μπορεί να διαταράξει τη φυσική αλληλουχία ολόκληρου του ώμου.



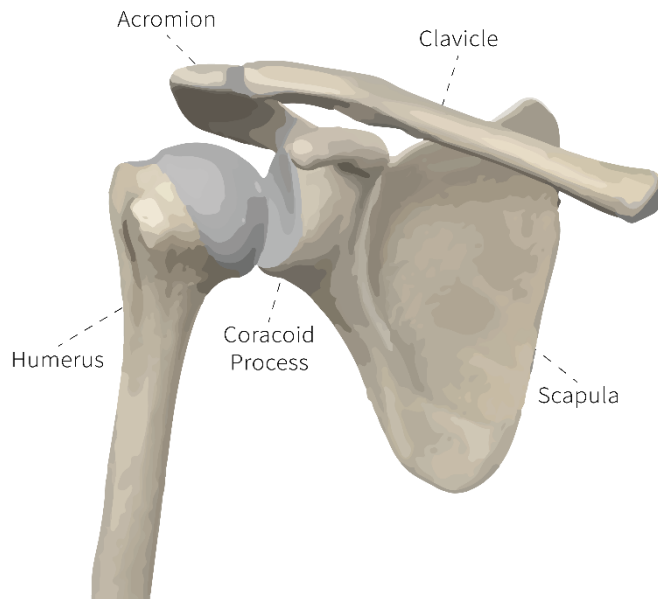
Εικόνα 2.3 Σχηματική αποτύπωση του συμπλέγματος του ώμου

Τα οστά του ώμου

Οστά στο σύμπλεγμα του ώμου	Οστεολογικά χαρακτηριστικά
Στέρνο (Sternum)	<p>Λαβή Manubrium</p> <p>Κλειδική εντομή Clavicular facets</p> <p>Πλευρική εντομή Costal facets</p> <p>Μηνοειδής (Σφαγητιδική) εντομή Jugular notch</p>
Κλειδα (Clavicle)	<p>Διάφυση Shaft</p> <p>Στερνικό άκρο Sternal end</p> <p>Πλευρική εντομή Costal facet</p> <p>Τράχυσμα πλευροκλειδικού συνδέσμου Costal tuberosity</p> <p>Ακρωμιακό άκρο Acromial end</p> <p>Ακρωμιακή εντομή Acromial facet</p> <p>Κωνοειδές φύμα Conoid tubercle</p> <p>Τραπεζοειδής γραμμή Trapezoid line</p>
Ωμοπλάτη (Scapula)	<p>Κάτω, Άνω και Έξω γωνία Inferior superior & lateral angles</p> <p>Έσω χείλος Medial or vertebral border</p> <p>Έξω χείλος Lateral or axillary border</p> <p>Άνω χείλος Superior border</p> <p>Υπερακάνθιος βόθρος Supraspinous fossa</p> <p>Υπακάνθιος βόθρος Infraspinous fossa</p> <p>Άκανθα Spine</p> <p>Βάση άκανθας Root of the spine</p> <p>Ακρώμιο Acromion</p>

	Κλειδική εντομή	Clavicular facet
	Ωμογλήνη	Glenoid fossa
	Υπεργλήνιο και υπογλήνιο φύμα	Supra and infraglenoid tubercles
	Κορακοειδής απόφυση	Coracoid process
	Υποπλάτιος βόθρος	Subscapular fossa
Εγγύς Βραχιόνιο (Proximal Humerus)	Κεφαλή βραχιονίου	Head of humerus
	Ανατομικός αυχένας	Anatomic neck
	Έλασσον όγκωμα και ακρολοφία	Lesser tubercle and crest
	Μείζον όγκωμα και ακρολοφία	Greater tubercle and crest
	Διεφραλική αύλακα	Intertubercular groove
	Δελτοειδές φύμα	Deltoid tuberosity
	Σπειροειδής αύλακα	Radial (Spiral) groove

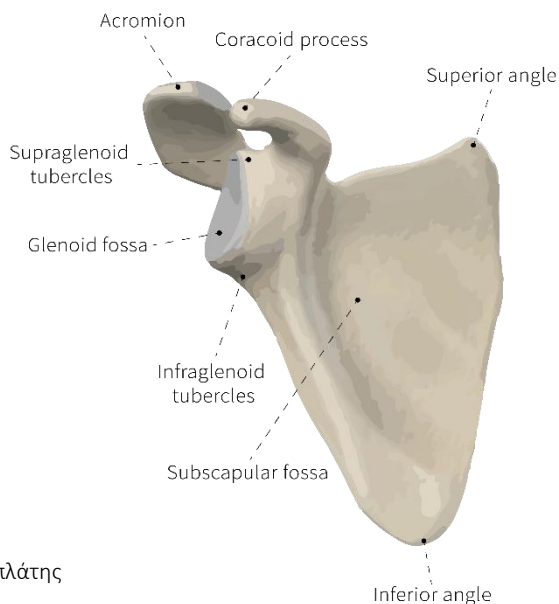
Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας θα μας απασχολήσουν μόνο τα οστά της ωμοπλάτης και του βραχιονίου, τα οποία και σχηματίζουν τη **γληνοβραχιόνια διάρθρωση**.



Εικόνα 2.4 Οστεολογικά χαρακτηριστικά της γληνοβραχιόνιας άρθρωσης

Ωμοπλάτη | Scapula

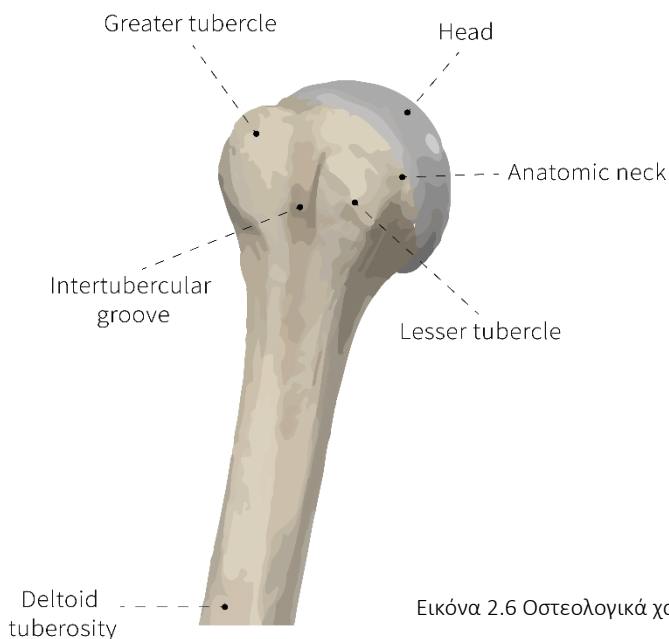
Η ωμοπλάτη αποτελεί ένα ευκίνητο, τριγωνικό οστό που στηρίζεται στην οπίσθια πλευρά του θώρακα. Η ελαφρώς κοίλη πρόσθια όψη του οστού ονομάζεται υποπλάτιος βόθρος και επιτρέπει στην ωμοπλάτη να κινείται ομαλά κατά μήκος του κυρτού οπίσθιου πλευρικού κλωβού. Συνεχίζοντας, η **ωμογλήνη**, μία ελαφρώς κοίλη, ωσειδούς σχήματος επιφάνεια, που δέχεται την κεφαλή του βραχιονίου, συνθέτοντας της γληνοβραχιόνια άρθρωση. Σύνορα αυτής αποτελούν το υπεργλήνιο και το υπογλήνιο φύμα που λειτουργούν ως θέσεις έκφυσης της μακράς κεφαλής του δικεφάλου και της μακράς κεφαλής του τρικεφάλου αντίστοιχα. Επιπλέον, η άκανθα διαιρεί την οπίσθια όψη της ωμοπλάτης στον υπερακάνθιο βόθρο (πάνω) και τον υπακάνθιο βόθρο (κάτω). Χαρακτηριστικό σημείο της γεωμετρίας της ωμοπλάτης αποτελεί το **ακρώμιο**, το οποίο είναι μία ευρεία, επίπεδη προβολή του άκρου από την άνω-πλάγια όψη του οστού και λειτουργεί σαν «οροφή» πάνω από την κεφαλή του βραχιονίου για την προστασία έκφυσης του δελτοειδούς. Τέλος, η **κορακοειδής απόφυση** αποτελεί μία δακτυλοειδή προεξοχή του οστού στην πρόσθια όψη, όπου εκφύονται αριετοί μύες και σύνδεσμοι του συμπλέγματος του ώμου.



Εικόνα 2.5 Οστεολογικά χαρακτηριστικά της ωμοπλάτης

Εγγύς Βραχιόνιο | Proximal Humerus

Το εγγύς βραχιόνιο αποτελεί σημείο σύνδεσης πλήθους συνδέσμων και μυών. Βασικό χαρακτηριστικό αποτελεί η **κεφαλή του βραχιονίου**, φέρει σχεδόν ημισφαιρικό σχήμα και μαζί με την ωμογλήνη συνθέτει την γληνοβραχιόνια άρθρωση. Στο άνω άκρο βρίσκονται το **έλασσον** και το **μείζον βραχιόνιο όγκωμα**. Το πρώτο αποτελεί μια προεξοχή στην πρόσθια όψη, επί τα εκτός της βραχιονίου κεφαλής, ενώ το δεύτερο μία πιο στρογγυλευμένη προβολή του οστού στην έξω (πλάγια) όψη, οπισθίως του ελάσσονος ογκώματος. Τα δύο αυτά χωρίζονται από τη μεσογιική αύλακα, γνωστή και ως αύλακα της μακράς κεφαλής του δικεφάλου αφού φιλοξενεί τη μακρά κεφαλή του δικεφάλου. Σημαντικοί είναι επίσης, ο ανατομικός αυχέννας του βραχιονίου, μία αύλακα που περιβάλλει την κεφαλή και την ξεχωρίζει από το μείζον και έλασσον όγκωμα και δηλοί γραμμή πρόσφυσης θυλάκου, καθώς και ο χειρουργικός αυχέννας, μία στενή μοίρα κάτω από την κεφαλή και τα ογκώματα. Προχωρώντας, συναντάται το δελτοειδές τράχυσμα στην εξωτερική πλευρά του οστού, το οποίο αποτελεί σημείο κατάφυσης του δελτοειδούς μύος, καθώς και η κεραιδική (σπειροειδή) αύλακα όπου πορεύεται το κεραιδικό νεύρο και η βραχιόνια αρτηρία, μεταξύ έσω και έξω κεφαλής τρικεφάλου.

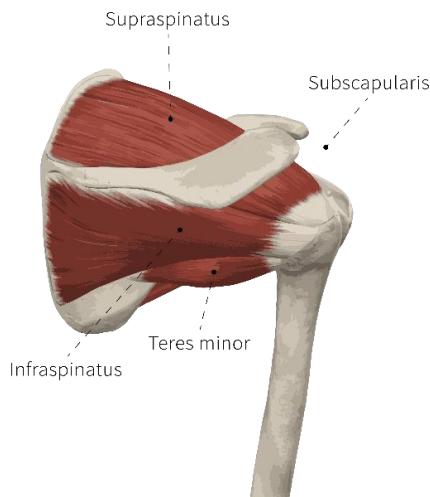


Εικόνα 2.6 Οστεολογικά χαρακτηριστικά του βραχιονίου

Μύες της άρθρωσης του ώμου

Οι μύες προκαλούν κινήσεις στις αρθρώσεις έλκοντας τα οστά στα οποία προσφύονται. Η σταθερή πρόσφυση του μυός είναι γνωστή ως **έκφυση**· το κινούμενο άκρο του μυός ονομάζεται **κατάφυση**. Κανένας μυς δεν ενεργεί μόνος, όλοι οι μύες που βρίσκονται γύρω από μία άρθρωση λαμβάνουν μέρος στην κίνηση αυτής.

Οι μύες μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τη λειτουργία τους. Ένας μυς που είναι άμεσα υπεύθυνος για μία κίνηση, ονομάζεται **πρωταγωνιστής**. Ο μυς που εκτελεί αντίθετη κίνηση από τον πρωταγωνιστή, καλείται **ανταγωνιστής**. Στην περίπτωση της άρθρωσης του αγκώνα, υπάρχουν τέσσερις μύες που περνούν μπροστά από την άρθρωση και δύο που βρίσκονται πίσω. Όταν ο αγκώνας κάμπτεται ενεργητικά, οι καμπτήρες είναι οι πρωταγωνιστές μύες και οι εκτεινόντες γίνονται οι ανταγωνιστές. Άλλοι μύες ενεργούν για να στηρίξουν τις κεντρικές αρθρώσεις, γνωστοί ως **σταθεροποιοί**. Είναι ικανοί να σταθεροποιήσουν την έκφυση των πρωταγωνιστών. Αν οι μύες που ενεργούν ως πρωταγωνιστές περνούν πάνω από περισσότερες από μία άρθρωση, άλλοι μύες γνωστοί ως **συνεργοί** ενεργοποιούνται είτε για να εμποδίσουν ανεπιθύμητες κινήσεις να λάβουν χώρα σε άλλες αρθρώσεις, είτε για να βοηθήσουν τον πρωταγωνιστή στην ενέργεια που καλείται να εκτελέσει. Τέλος, ένας μυς που ενεργοποιείται για να εξουδετερώσει την κίνηση του πρωταγωνιστή, που είναι δυνατόν να γίνει εκτός φυσιολογικής τροχιάς, ονομάζεται **εξουδετεροποιός**.



Εικόνα 2.7 Οι τέσσερις μύες του στροφικού πετάλου

Οι μύες της άρθρωσης του ώμου παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί με βάση τη σχετική τους θέση τους ως προς την άρθρωση. Όλοι οι μύες διέρχονται από τον κορμό ή την ωμοπλάτη προς τον βραχίονα.

Πρόσθια (Anterior)		Οπίσθια (Posterior)	
Μείζων θωρακικός	Pectoralis major	Υπακάνθιος	Infraspinatus
Κορακιοβραχιόνιος	Coracobrachialis	Ελάσσων στρογγύλος	Teres minor
Υποπλάτιος	Subscapularis		
Δικέφαλος βραχιόνιος	Biceps brachii		
Άνω (Superior)		Κάτω (Inferior)	
Δελτοειδής	Deltoid	Πλατύς ραχιαίος	Latissimus dorsi
Υπερακάνθιος	Supraspinatus	Μείζον στρογγύλος	Teres minor
		Μακρά κεφαλή τρικεφάλου	Triceps brachii, Long head

Στροφικό πέταλο | Rotator Cuff

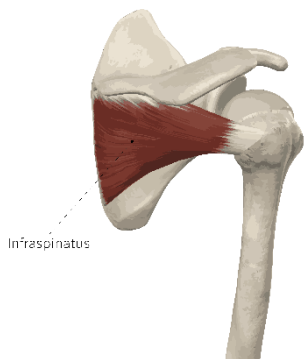
Τέσσερις από τους μύες αυτούς (υπερακάνθιος, υπακάνθιος, ελάσσων στρογγύλος, υποπλάτιος) σχηματίζουν το στροφικό πέταλο. Οι μύες του στροφικού πετάλου έχουν διπλό ρόλο είτε ως σταθεροποιητές, είτε ως πρωταγωνιστές, ανάλογα την κίνηση. Μια από τις κύριες λειτουργίες τους είναι η προστασία της άρθρωσης του ώμου και η πρόληψη του εξαρθήματος της βραχιόνιας κεφαλής. Και οι τέσσερις αυτοί μύες ασκούν μια έντονη έλξη προς τα έσω επί της βραχιονίου κεφαλής προς την ωμογλήνη.

Υπερακάνθιος | Supraspinatus

Εκφύεται από τον υπερακάνθιο βόθρο και την άνω επιφάνεια της άκανθας της ωμοπλάτης και καταφύεται στο μείζον όγκωμα του βραχιονίου οστού. Είναι πρωταγωνιστής στην κίνηση της απαγωγής με μεγαλύτερη ενεργοποίηση από τις 0 μέχρι τις 90°.



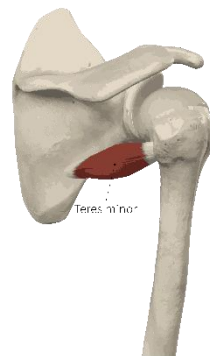
Εικόνα 2.8 Υπερακάνθιος μυς



Εικόνα 2.9 Υπακάνθιος μυς

Υπακάνθιος | Infraspinatus

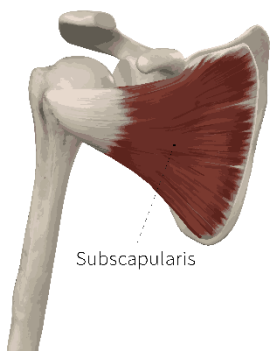
Εκφύεται από τον υπακάνθιο βόθρο και την κάτω επιφάνεια της ωμοπλατιαίας άκανθας και καταφύεται στο μείζον όγκωμα του βραχιονίου οστού. Πρωταγωνιστεί στην κίνηση της έξω στροφής και οριζόντιας απαγωγής του βραχίονα.



Εικόνα 2.10 Ελάσσων στρογγύλος μυς

Ελάσσων Στρογγύλος | Teres Minor

Εκφύεται από την πάνω μοίρα του έξω χείλους της ωμοπλάτης και καταφύεται στο μείζον βραχιόνιο όγκωμα. Μαζί με τον υπακάνθιο πρωταγωνιστούν την κίνηση της έξω στροφής.



Εικόνα 2.11 Υποπλάτιος μυς

Υποπλάτιος | Subscapularis

Εκφύεται από τον υποπλάτιο βόθρο της ωμοπλάτης και καταφύεται στο ελάσσον βραχιόνιο όγκωμα. Διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην κίνηση της έσω στροφής.

2.3. Κινησιολογία

Κινηματική είναι ο τομέας της μηχανικής που περιγράφει την κίνηση ενός σώματος, δίχως να λαμβάνει υπόψιν τις δυνάμεις ή τις ροπές που πιθανώς παράγουν την κίνηση.

Επίπεδα Κίνησης

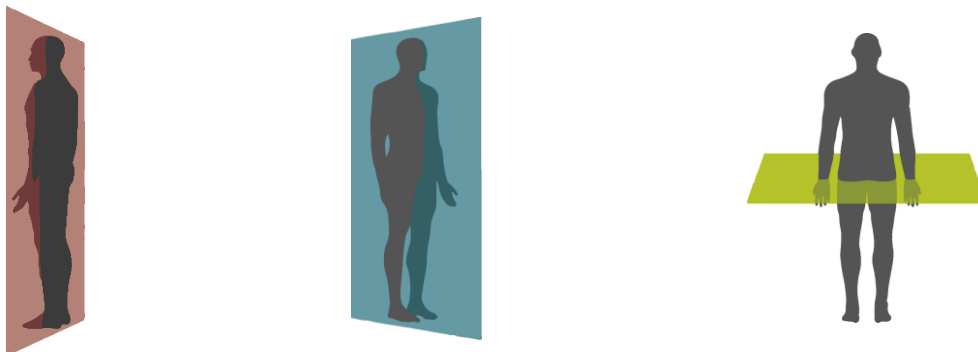
Η οστεοκινηματική περιγράφει την κίνηση σχετικά με τα τρία βασικά επίπεδα του σώματος:

- **Οβελιαίο επίπεδο** (Sagittal Plane): Φέρεται κατά μήκος της ράχης, διατρέχοντας την οβελιαία ραφή του κρανίου, και διαιρεί το σώμα σε δεξιό και αριστερό ημιμόριο.
- **Μετωπιαίο επίπεδο** (Frontal Plane): Φέρεται παράλληλα προς το μέτωπο, διατρέχοντας τη στεφανιαία ραφή του κρανίου, και κάθετα προς το οβελιαίο επίπεδο διαιρώντας το σώμα σε πρόσθιο ή κοιλιακό και σε οπίσθιο ή ραχιαίο τμήμα.
- **Εγκάρσιο επίπεδο** (Horizontal Plane): Φέρεται παράλληλα προς το έδαφος εγκάρσια στον επιμήκη άξονα του σώματος και κάθετα στο οβελιαίο επίπεδο. Διαιρεί το σώμα σε κεφαλικό ή άνω και ουραίο ή κάτω τμήμα.

Πάνω σε αυτά τα επίπεδα βρίσκονται και οι άξονες περί τους οποίους δύναται να περιστραφεί το σώμα. Έτσι διακρίνουμε τους εξής τρεις άξονες:

- **Πρόσθιοπίσθιος** ή οβελιαίος άξονας
- **Κεφαλουραίος** ή κάθετος άξονας
- **Μετωπιαίος** ή οριζόντιος άξονας

Οι παραπάνω άξονες αποτελούν ορθογώνιο σύστημα αναφοράς και θα μπορούσαν να αναπαριστώνται αντίστοιχα ως x (οριζόντιος), y (κάθετος) και z (οβελιαίος).



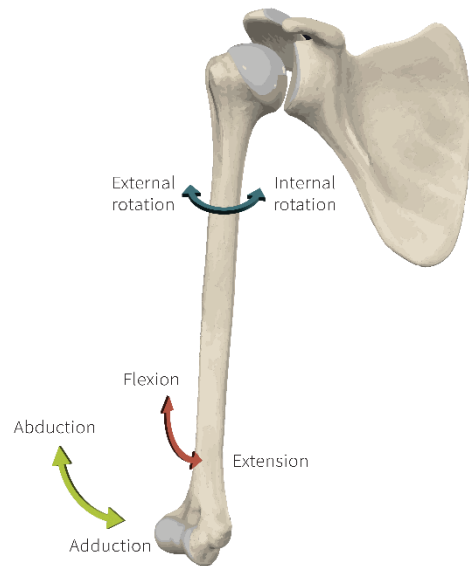
Εικόνα 2.12 Τα τρία βασικά ανατομικά επίπεδα

Οι κινήσεις των μελών του σώματος ονομάζονται ανάλογα με το επίπεδο στο οποίο εκτελούνται.

Επίπεδο	Βασικές κινήσεις
Οβελιαίο Επίπεδο	Κάμψη και Έκταση Flexion and Extension Ραχιαία και Πελματιαία κάμψη Dorsi and Plantar flexion Πρόσθια και Οπίσθια κάμψη Forward and Backward bending
Μετωπιαίο Επίπεδο	Απαγωγή και Προσαγωγή Abduction and Adduction Πλάγια κάμψη Lateral flexion Ωλένια και Κεραιδική απόκλιση Ulnar and Radial Deviation Ανάσπαση έξω και έσω Eversion and Inversion
Εγκάρσιο Επίπεδο	Έσω και έξω στροφή Internal and External Rotation Αξονική στροφή Axial Rotation

Άξονας Περιστροφής

Τα οστά περιστρέφονται γύρω από μία άρθρωση σε ένα επίπεδο που είναι κάθετο σε έναν άξονα περιστροφής. Υπολογιζόμενος αδρά, ο άξονας (ή σημείο στροφής) μπορεί να υποτεθεί ότι περνά μέσω του κυρτού μέλους της άρθρωσης. Προκειμένου να περιγραφεί η κίνηση ενός στερεού σώματος, πρέπει να ορίσουμε το σύστημα αναφοράς.



Ο ώμος, για παράδειγμα, επιτρέπει κίνηση και στα τρία επίπεδα, και γι' αυτό έχει τρεις άξονες περιστροφής. Μολονότι, οι τρεις ορθογώνιοι άξονες αποτυπώνονται ως στατικοί, στην πραγματικότητα, όπως σε όλες τις αρθρώσεις, κάθε άξονας μετακινείται ελαφρά κατά τη διάρκεια της κίνησης. Ο άξονας θα παρέμενε στατικός μόνο αν το κοίλο μέλος της άρθρωσης ήταν τέλεια σφαίρα, αρθρούμενο με ένα αμοιβαία τέλεια σχηματισμένο κυρτό μέλος. Το κυρτό μέλος στις περισσότερες αρθρώσεις, όπως στη βραχιόνια κεφαλή του ώμου, είναι ατελείς σφαίρες με μεταβλητές κυρτότητες.

Εικόνα 2.13 Η δεξιά γληνοβραχιόνια άρθρωση όπου φαίνονται τα επίπεδα γωνιακής κίνησης: κάμψη και έκταση (Flexion & Extension) συμβαίνουν γύρω από έναν μετωπιαίο άξονα, η απαγωγή και προσαγωγή (Adduction & Abduction) που συμβαίνουν γύρω από έναν προσθιοπίσθιο άξονα και οι έσω – έξω στροφές (Internal – External Rotation) που συμβαίνουν γύρω από έναν κάθετο άξονα. Παράλληλα είναι δυνατή και μία μικρή μετατόπιση της κεφαλής σε σχέση με την ωμογλήνη και στα τρία επίπεδα κίνησης.

Βαθμοί Ελευθερίας

Βαθμοί Ελευθερίας είναι ο αριθμός των ανεξάρτητων κατευθύνσεων των κινήσεων που επιτρέπει μία άρθρωση. Μια άρθρωση μπορεί να έχει μέχρι τρεις βαθμούς ελευθερίας, έναν για κάθε επίπεδο. Για παράδειγμα, ο ώμος φέρει τρεις βαθμούς γωνιακής ελευθερίας.

Οι ανεπαίσθητες παθητικές ολισθήσεις που συμβαίνουν στις περισσότερες αρθρώσεις αναφέρονται ως επικουρικές κινήσεις ή joint play και συνήθως καθορίζονται από τρεις γραμμικές διευθύνσεις. Από την ανατομική θέση, ο προσανατολισμός στο χώρο και η διεύθυνση των επικουρικών κινήσεων, μπορεί να περιγραφεί σχετικά με τους τρεις άξονες περιστροφής. Στη χαλαρή γληνοβραχιόνια άρθρωση, για παράδειγμα, το βραχιόνιο μπορεί να ολισθήσει ελαφρώς παθητικά: προσθιοπίσθια, έσω-έξω και άνω-κάτω.

Σε πολλές αρθρώσεις, το μέγεθος ολίσθησης χρησιμοποιείται κλινικά για τον έλεγχο της υγείας της άρθρωσης. Μη φυσιολογική ολίσθηση σε μία άρθρωση συνήθως επηρεάζει την ποιότητα των ενεργητικών κινήσεων, προκαλώντας εν δυνάμει αυξημένη ενδοαρθρική φόρτιση και μικροτραύμα.

Τυπική μορφολογία της άρθρωσης

Η αρθροϊνηματική περιγράφει την κίνηση που συμβαίνει μεταξύ των αρθρικών επιφανειών των αρθρώσεων. Το σχήμα των αρθρικών επιφανειών ποικίλει από επίπεδες σε καμπύλες. Οι περισσότερες αρθρικές επιφάνειες, εντούτοις, είναι τουλάχιστον ελαφρώς καμπύλες, με τη μία επιφάνεια να είναι σχετικά κυρτή και την άλλη σχετικά κοίλη. Η σχέση κυρτού – κοίλου των περισσότερων αρθρώσεων, βελτιώνει την επαλληλία τους, αυξάνει την επιφάνεια για απόσβεση των δυνάμεων επαφής και βοηθά την καθοδήγηση της κίνησης μεταξύ των οστών.

Θεμελιώδεις κινήσεις μεταξύ των αρθρικών επιφανειών

Υπάρχουν τρεις θεμελιώδεις κινήσεις μεταξύ των καμπύλων αρθρικών επιφανειών: η **κύλιση**, η **ολίσθηση** και η **περιστροφή**. Αυτές οι κινήσεις συμβαίνουν καθώς μία κυρτή επιφάνεια κινείται πάνω σε μία κοίλη, και αντίθετα.



Εικόνα 2.14 Θεμελιώδεις κινήσεις μεταξύ των αρθρικών επιφανειών, από αριστερά προς τα δεξιά, κύλιση, ολίσθηση, περιστροφή.

Κινήσεις κύλισης – ολίσθησης

Ένας βασικός τρόπος που ένα οστό περιστρέφεται στον χώρο είναι με την κύλιση της αρθρικής του επιφάνειας, έναντι της αρθρικής επιφάνειας ενός άλλου οστού.

Η μετακίνηση αυτή της κυρτής επί της κοίλης επιφάνειας εμφανίζεται για την κίνηση της γληνοβραχιόνιας άρθρωσης. Ο υπό συστολή υπερακάνθιος μυς κυλά την κυρτή κεφαλή του βραχιονίου πάνω στην ελαφρά κοιλότητα της ωμογλήνης. Στην ουσία, η κύλιση κατευθύνει τη διαδρομή της οστεοκίνηματικής κατά την απαγωγή του βραχιονίου. Μία κυλιόμενη κοίλη επιφάνεια, τυπικά περιλαμβάνει μία ταυτόχρονη, αντίθετης κατεύθυνσης ολίσθηση. Στο υπό μελέτη σύστημα, η προς τα κάτω ολίσθηση της βραχιόνιας κεφαλής, αντισταθμίζει το μεγαλύτερο μέρος της δυναμικής, για μετακίνηση προς τα πάνω της βραχιόνιας κεφαλής. Η ταυτόχρονη κίνηση κύλισης – ολίσθησης, μεγιστοποιεί τη γωνιακή μετατόπιση του υπό απαγωγή βραχιονίου και ελαχιστοποιεί την καθαρή ολίσθηση.

Απαγωγή και Προσαγωγή | Abduction and Adduction

Η απαγωγή του ώμου είναι η κίνηση που γίνεται όταν το χέρι από την ανατομική θέση, έρχεται πλάγια στο ύψος του ώμου και ύστερα στη θέση της τελικής κάμψης (ανάταση). Εκτελείται στο μετωπιαίο επίπεδο και σε ένα προσθιοπίσθιο άξονα. Το εύρος της απαγωγής είναι 180°. Πρωταγωνιστές στην απαγωγή είναι ο μέσος δελτοειδής και ο υπερκακάνθιος. Η επιστροφή του χεριού στην αρχική θέση, από το πλάι, λέγεται προσαγωγή. Η κίνηση εκτελείται στο μετωπιαίο επίπεδο και το εύρος της τροχιάς είναι 180°. Οι μύες που είναι πρωταγωνιστές στην προσαγωγή είναι ο πλατύς ραχιαίος, η στερνική μοίρα του μείζων θωρακικού και ο μείζων στρογγύλος.

Κάμψη και Έκταση | Flexion and Extension

Η κάμψη του ώμου είναι η κίνηση που γίνεται όταν το χέρι από την ανατομική θέση, έρχεται στη θέση της πρότασης και κατόπιν της ανάτασης. Εκτελείται στο οβελιαίο επίπεδο και σε ένα μετωπιαίο άξονα. Το εύρος της κίνησης είναι 180°. Ο πρόσθιος δελτοειδής είναι πρωταγωνιστής, μαζί με το δικέφαλο βραχιόνιο, τη κλειδική μοίρα του μείζονος θωρακικού και τον κορακοβραχιόνιο.

Έσω και Έξω Στροφή | Internal and External Rotation

Έσω στροφή ονομάζεται η κίνηση κατά την οποία το χέρι έρχεται προς την περιοχή του στήθους, με τον αγκώνα σε κάμψη 90°. Η κίνηση γίνεται στο οριζόντιο επίπεδο και σε ένα κατακόρυφο άξονα. Το εύρος τροχιάς είναι 0 με 80° - 90°. Πρωταγωνιστής στην κίνηση είναι ο υποπλάτιος. Αντίθετα, έξω στροφή είναι η κίνηση κατά την οποία το χέρι έρχεται προς τα έξω με τον αγκώνα σε κάμψη 90°. Η κίνηση γίνεται στο οριζόντιο επίπεδο και σε κάποιο κατακόρυφο άξονα. Το εύρος της τροχιάς είναι 80° - 90°. Πρωταγωνιστές στην κίνηση της έξω στροφής είναι ο υπακάνθιος και ο ελάσσων στρογγύλος.

Οριζόντια Απαγωγή και Προσαγωγή | Horizontal Abduction and Adduction

Η οριζόντια απαγωγή είναι μια κίνηση προς τα εμπρός του βραχιονίου που βρίσκεται σε απαγωγή στο οριζόντιο επίπεδο. Αντίστοιχα, η προσαγωγή είναι μια κίνηση προς τα πίσω του βραχιονίου που βρίσκεται σε κάμψη, σε ένα οριζόντιο επίπεδο (δηλαδή, από ένα επίπεδο κάθετο προς το επίπεδο της ωμοπλάτης προς ένα επίπεδο παράλληλο προς αυτό).

Ο ώμος είναι ένα από τα πιο πολύπλοκα μυοσκελετικά συστήματα του σώματος. Σχεδόν κάθε δράση που συμβαίνει στο σύμπλεγμα αυτό περιλαμβάνει το συντονισμό πολλών μυών που καθοδηγούν και υποστηρίζουν τον ώμο στο μεγάλο εύρος κίνησης. Οι μύες μπορεί να εμπλέκονται στη σταθεροποίηση ενός εγγύς οστού όπως η ωμοπλάτη ή η κλείδα, ενώ άλλοι παράγουν ταυτόχρονα κίνηση του βραχιονίου. Παράλληλα, οι σύνδεσμοι και άλλοι μαλακοί ιστοί, συμπεριλαμβανομένων των μυών, επιτρέπουν τις σωστές αρθροκινηματικές κινήσεις σε κάθε μία από τις τέσσερις αρθρώσεις του συμπλέγματος του ώμου.

Επειδή η σωστή κίνηση του ώμου απαιτεί συντονισμένη δράση τόσων πολλών μυών σε πολλαπλές αρθρώσεις, ο τραυματισμός του ώμου είναι σχετικά κοινός. Ωστόσο, οι ίδιοι παράγοντες που καθιστούν αυτή την περιοχή του σώματος επιρρεπή σε τραύματα καθιστούν επίσης το σύμπλεγμα του ώμου εξαιρετικά ευέλικτο.

2.4. Μηχανική βιολογικών ιστών

Το σκελετικό σύστημα πέραν των οστών αποτελείται επίσης και από μαλακούς συνδετικούς ιστούς, συνδέσμους, τένοντες και αρθρικό χόνδρο. Οι ιστοί αυτοί αποτελούνται κατά κύριο λόγο από κολλαγόνο και πρωτεογλυκάνες, ενώ η βιοχημική και δομική οργάνωση τους διαφέρει ανάλογα τη λειτουργία τους. Η ακριβής σύσταση τους αναφέρεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Ιστός	% ξηρού βάρους		
	Κολλαγόνο	Ελαστίνη	Πρωτεογλυκάνες
Τένοντες	75 - 78	< 3	1 - 2
Σύνδεσμοι	75 - 80	< 5	1 - 3
Αρθρικός Χόνδρος	50 - 75	Ίχνη	20 - 30

Τένοντες

Οι τένοντες είναι πυκνοί ινώδεις ιστοί που συνδέουν τους μύες με τα οστά. Υπάρχουν στο σώμα μας σε μεγάλη ποικιλία σχημάτων και μεγεθών, και εξαρτώνται από τη μορφολογία, φυσιολογία, και τα μηχανικά χαρακτηριστικά αμφότερων του μυός και των οστών στα οποία προσαρμόζονται. Συνήθως, αποτελούνται από έναν εξωτερικό και στο εσωτερικό του από την απονεύρωση (aponeurosis). Ο εξωτερικός τένοντας συνδέει κατάλληλα έναν μυ με το οστόν, ενώ η απονεύρωση παρέχει την επιφάνεια πρόσφυσης για τις μυϊκές ίνες. Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές φορές οι τένοντες δεν είναι μονολιθικές κατασκευές αλλά στηρίζονται σε διαδοχικές θήκες, όπως π.χ. οι τένοντες των δακτύλων.

Παρόλη την ποικιλία των τενόντων ως προς ένα μέγεθος και σχήμα, κάθε τένοντας έχει τρεις διακριτές περιοχές οργάνωσης: τη μυοτενόντιο συμβολή, τη μεσότητα του τένοντα, και την κατάφυση.

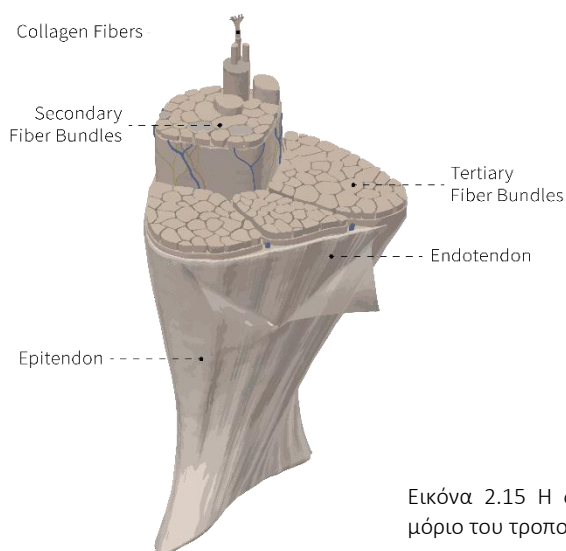
Ο τένοντας αποτελείται πρωταρχικά από κολλαγόνες ίνες μέσα σε ένα ζελώδες υπόστρωμα. Αφού οι ίνες κολλαγόνου αποτελούν περίπου το 70-80% του ξηρού βάρους του τένοντα (Elliot, 1965), κρίνεται απαραίτητη, για την κατανόηση των μηχανικών ιδιοτήτων των μαλακών ιστών, μία σύντομη αναφορά της βιοχημικής οργάνωσης του κολλαγόνου.

Όπως γνωρίζουμε τα κολλαγόνα αποτελούν μία μεγάλη οικογένεια πρωτεϊνών και είναι τα σημαντικότερα ινιδικά συστατικά της εξωκυττάριας θεμέλιας ουσίας. Υπάρχουν τουλάχιστον 20 είδη πολυπεπτιδικών αλυσίδων κολλαγόνου (α αλυσίδες) οι οποίες συνδεόμενες δημιουργούν τους διάφορους τύπους κολλαγόνου.

Το κολλαγόνο τύπου I είναι το πιο σύννηθες στους συνδέσμους, τους τένοντες και τα οστά, ενώ το τύπου II είναι επικρατέστερο στους χόνδρους.

Η δομική ιεραρχία του, προσδίδει στιβαρότητα και δύναμη στους ιστούς. Βασική μονάδα του κολλαγόνου αποτελεί το τροποκολλαγόνο (tropocollagen), ή «τριπλής έλικας». Τρεις πολυπεπτιδικές αλυσίδες (α αλυσίδες) που σχηματίζουν μαζί μία ελικοτή δομή διαμέτρου 1.5 nm και 280-300 nm μήκος. Οι τρεις υπομονάδες κολλαγόνου είναι πυκνά δομημένες και σταθεροποιούνται με δεσμούς υδρογόνου. Η ένωση πέντε δομικών μονάδων τροποκολλαγόνου οδηγούν στο σχηματισμό μικρο-ινιδίων (microfibrils), που με τη σειρά τους ενώνονται για το σχηματισμό ινιδίων (fibrils) κολλαγόνου, διαμέτρου 50-500 nm. Οι ίνες κολλαγόνου, διαμέτρου 50–300 μm, σχηματίζονται από συσσωματώματα ινιδίων. Οι ίνες συναθροίζονται ώστε να αποτελέσουν δέσμες (fascicles). Οι δέσμες ινών συναθροίζονται σε περαιτέρω δέσμες

(fascicle bundles) που περιβάλλονται από τον επιτένοντα (epitendon). Τέλος, πολλές δέσμες περιβάλλονται από τον παρατένοντα (paratendon), που αποτελεί την εξωτερική θήκη του τένοντα. Μερικοί τένοντες περιβάλλονται περαιτέρω από αρθρική θήκη με υγρό που ενεργεί προς μείωση της τριβής κατά την κίνηση του τένοντα ως προς τον περιβάλλοντα ιστό.



Εικόνα 2.15 Η δομική ιεραρχία του τένοντα, από το μόριο του τροποκολλαγόνου μέχρι τον πλήρη τένοντα.

Εμβιομηχανικές Ιδιότητες Συνδετικών Ιστών

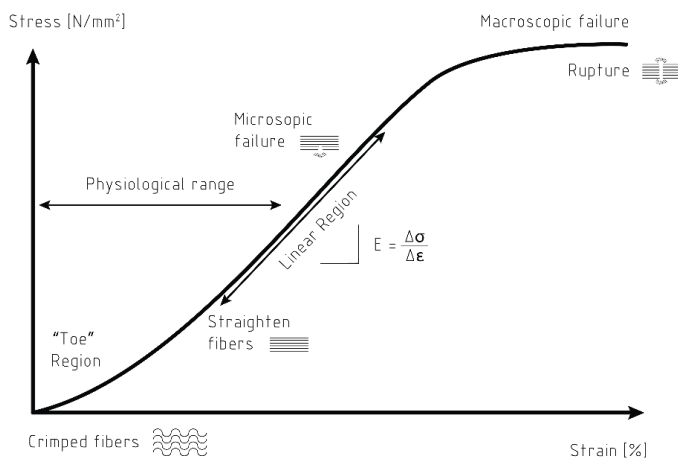
Παρότι οι συνδετικοί ιστοί που αναφέρθηκαν στον παραπάνω πίνακα αποτελούνται από ίδια συστατικά, οι συγκεντρώσεις τους καθώς και η δομική τους οργάνωση διαφέρουν σημαντικά, γεγονός που επιφέρει σημαντικές διαφορές στην εμβιομηχανική τους συμπεριφορά. Η προσέγγιση της εν λόγω συμπεριφοράς γίνεται με το διαχωρισμό των δομικών ιδιοτήτων και των υλικών ιδιοτήτων που εμφανίζει ο ιστός που μελετάται.

Οι δομικές ιδιότητες αναφέρονται στο σώμα ως σύνολο και δεν εξαρτώνται μόνο από το υλικό που αποτελείται, αλλά και από το μέγεθος και σχήμα του.

Οι υλικές ιδιότητες παραπέμπουν στην εν γένει μηχανική συμπεριφορά των συστατικών του ιστού, ανεξαρτήτως της γενικότερης γεωμετρίας.

Δομικές Ιδιότητες

Δεδομένης της λειτουργίας των συνδέσμων και τενόντων στη μεταφορά εφελκυστικών φορτίων, οι πειραματικές δοκιμασίες έχουν επικεντρωθεί στις τάσεις που αναπτύσσονται κατά τη φόρτιση ενός συμπλέγματος οστό – τένοντας – μυς ή οστό – σύνδεσμος – μυς με τη βοήθεια ηλεκτρομηχανικών πλαισίων φόρτισης. Η καταγραφή της αναπτυσσόμενης δύναμης κατά την παραμόρφωση του συμπλέγματος, οδηγεί σε ένα χαρακτηριστικό διάγραμμα φόρτισης – επιμήκυνσης το οποίο εμφανίζει τρεις περιοχές, τη δακτυλοειδή, τη γραμμική και την περιοχή διαρροής.



Εικόνα 2.16 Τυπικό διάγραμμα Τάσης - Παραμόρφωσης τένοντα (τροποποιημένο από Latash 2016)



Κεφάλαιο 3 | Στοιχεία Μηχανικής

3.1. Θεωρία Μηχανικής

Η μηχανική είναι ο κλάδος της Επιστήμης που μελετά την κίνηση και την παραμόρφωση των σωμάτων καθώς και των δυνάμεων που τις προξενούν. Βασίζεται στις έννοιες του χρόνου, του χώρου, της δύναμης, της ενέργειας και της ύλης. Συγκεκριμένα, η μηχανική του παραμορφώσιμου σώματος ασχολείται με τη μελέτη της σχέσης μεταξύ των εξωτερικών δράσεων και των αποτελεσμάτων που αυτές προκαλούν στο εσωτερικό του σώματος.

Υποδιαιρείται στη μηχανική των ελαστικών, των πλαστικών και των ιξωδοελαστικών υλικών. Ως **ελαστικό** ορίζεται το σώμα στο οποίο όλες οι παραμορφώσεις αίρονται με την άρση των αιτιών που τις προκάλεσαν. Αντιθέτως, το **πλαστικό** σώμα υπόκειται σε μόνιμες παραμορφώσεις. Το **ιξωδοελαστικό** σώμα φέρει ιδιότητες τόσο στερεού, όσο και ρευστού. Όταν μία εξωτερική δύναμη εφαρμόζεται σε ένα στερεό σώμα, το σώμα θα παραμορφωθεί σε κάποιο βαθμό. Η συνεχής επιβολή της ίδιας δύναμης δεν παραμορφώνει κατ' ανάγκη συνεχώς το σώμα, ενώ η συνεχής εφαρμογή δύναμης σε ένα ρευστό θα προκαλέσει συνεχή παραμόρφωση. Ο όρος ιξώδες περιγράφει την αντίσταση του ρευστού στη ροή. Σημειώνεται, ότι τα πιο πολλά βιολογικά υλικά επιδεικνύουν τέτοια συμπεριφορά.

Για τη συγκριτική μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς δομών διαφορετικής γεωμετρίας, είναι απαραίτητη η αναγωγή στα μεγέθη της τάσης σ , και της ανηγμένης παραμόρφωσης ϵ , έναντι της δύναμης F , και της μεταβολής του μήκους ΔL , ώστε να εξασφαλίζεται η ανεξαρτησία των συμπερασμάτων από τα γεωμετρικά στοιχεία.

Ως **τάση** σ , ορίζεται η πυκνότητα δύναμης F (στη μονάδα της επιφάνειας) που μεταβιβάζεται δια μέσω μίας τομής εμβαδού A που διέρχεται από σημείο στο υπό ένταση συνεχές μέσο.

$$\vec{\sigma} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta F}}{\Delta A} \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right]$$

Ως **ανηγμένη παραμόρφωση** ϵ , καλείται ο λόγος παραμόρφωσης ΔL ανά μονάδα μήκους L και αποτελεί αδιάστατο μέγεθος.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Τα μεγέθη σ και ϵ , όσο ένα υλικό βρίσκεται στην περιοχή της γραμμικής ελαστικότητας, συνδέονται μέσω του νόμου του Hooke:

$$\sigma = E\epsilon$$

Στη γενικότερη περίπτωση, όπου οι φορτίσεις δεν είναι μόνο εφελκυστικές, θλιπτικές ή διατμητικές, η περιγραφή της συνθήκης της φόρτισης γίνεται μέσω του τανυστή τάσης σ_{ij} ο οποίος περιέχει 9 στοιχεία:

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix}$$

Τα εκτός της κύριας διαγωνίου στοιχεία αναπαριστούν τις διατμητικές τάσεις οι οποίες συμβολίζονται και ως τ_{ij} . Λόγω ισορροπίας ροπών στις τρεις διαστάσεις, προκύπτει ότι:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad \tau_{zy} = \tau_{yz} \quad \tau_{xz} = \tau_{zx}$$

δηλαδή ο τανυστής των τάσεων είναι συμμετρικός.

Επομένως, για να περιγραφεί η εντατική κατάσταση ενός φορτιζόμενου σώματος απαιτούνται **έξι ανεξάρτητες συνιστώσες τάσης**, τρεις ορθές και τρεις διατμητικές.

Με κατάλληλη επιλογή του συστήματος συντεταγμένων, ο τανυστής τάσεων δύναται να μετασχηματιστεί στον τανυστή κυρίων τάσεων όπου τα εκτός της κύριας διαγωνίου στοιχεία είναι μηδενικά.

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{pmatrix}$$

Οι ανηγμένες παραμορφώσεις, για απειροστό στοιχείο dx, dy, dz , του σώματος, και για μικρές παραμορφώσεις (παραγώγους των μετατοπίσεων) στη γειτονιά σημείου/στοιχείου περιγράφονται, ομοίως μέσω συμμετρικού τανυστή 2ας τάξεως όπως και οι τάσεις:

$$\epsilon = \begin{pmatrix} \epsilon_{xx} & \epsilon_{xy} & \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yx} & \epsilon_{yy} & \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} & \epsilon_{zy} & \epsilon_{zz} \end{pmatrix}$$

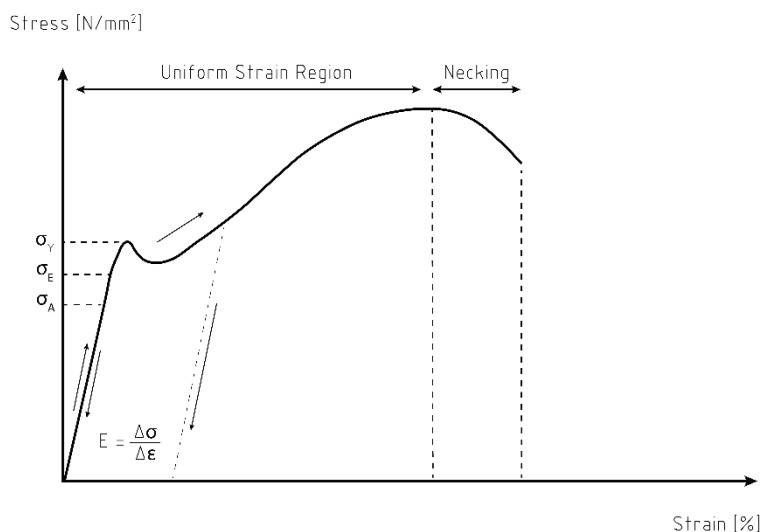
Στην πιο γενική περίπτωση της γραμμικής ελαστικότητας, μία καλή προσέγγιση της σχέσης $\sigma - \epsilon$ αποτελεί ο γενικευμένος νόμος Hooke που συνδέει όλα τα στοιχεία των τανυστών τάσεων και παραμορφώσεων

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl}$$

όπου C_{ijkl} ο τανυστής ακαμψίας (Stiffness tensor) τετάρτης τάξεως ο οποίος έχει 81 ή 16 ελαστικές σταθερές για τρισδιάστατα ή δισδιάστατα προβλήματα αντίστοιχα.

3.2. Το διάγραμμα $\sigma - \epsilon$

Το διάγραμμα που αποτυπώνει τη σχέση μεταξύ της τάσης και της ανηγμένης παραμόρφωσης μπορεί εύκολα να προκύψει πειραματικά από μία δοκιμή εφελκυσμού. Σε δοκίμιο τοποθετείται μηκυνσιόμετρο. Αυξάνοντας το φορτίο P_i , καταγράφεται η τάση $\sigma_i = \frac{P_i}{A_0}$ και η αντίστοιχη παραμόρφωση ϵ_i .



Εικόνα 3.1 Τυπικό διάγραμμα σ - ϵ για χάλυβα

σ_A : Όριο Αναλογίας: Η μέγιστη τιμή της τάσης που ισχύει η γραμμική σχέση μεταξύ τάσης – αν. παραμόρφωσης, δηλαδή ο νόμος του Hooke.

σ_E : Όριο Ελαστικότητας: Η μέγιστη τιμή της τάσης για την οποία μετά την αποφόρτιση, το δοκίμιο επανέρχεται στο αρχικό του μήκος, δηλαδή δεν υπάρχει μόνιμη παραμόρφωση.

σ_Y : Συμβατικό όριο Διαρροής: Η τάση για την οποία μετά την αποφόρτιση, η μόνιμη παραμόρφωση είναι 0.2%.

Μετά το όριο διαρροής το υλικό κρατύνεται, δηλαδή απαιτείται επιπλέον αύξηση της τάσης για να παραμορφωθεί περαιτέρω. Σε ένα ενδεικτικό διάγραμμα $\sigma - \epsilon$ για χάλυβα, όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 3.1, μπορούν να αποτυπωθούν τρία χαρακτηριστικά σημεία για τη συμπεριφορά του υλικού. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε άλλα υλικά τα χαρακτηριστικά αυτά σημεία θεωρούνται ως ταυτιζόμενα με το όριο διαρροής.

3.3. Ιξωδοελαστικότητα

Σε πολλές περιπτώσεις, οι ασκούμενες δυνάμεις θεωρούνται στατικές και ο χρόνος δεν επηρεάζει τη μηχανική συμπεριφορά του υλικού. Υπάρχουν, όμως, υλικά στα οποία ο χρόνος παίζει σημαντικό ρόλο. Η χρονοεξαρτώμενη συμπεριφορά αυτών των υλικών ονομάζεται ιξωδοελαστικότητα και παρουσιάζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά φαινόμενα:

Υστέρηση (hysteresis): Η καμπύλη φόρτισης-αποφόρτισης στο διάγραμμα τάσεων-ανηγμένων παραμορφώσεων (σ - ϵ) δεν ταυτίζεται κατά την φόρτιση και αποφόρτιση. Αυτό συνεπάγεται απώλεια ενέργειας, η οποία μετατρέπεται σε θερμότητα. Η απώλεια ενέργειας αντιστοιχεί στο εμβαδόν που περιλείεται μεταξύ των δύο καμπυλών.

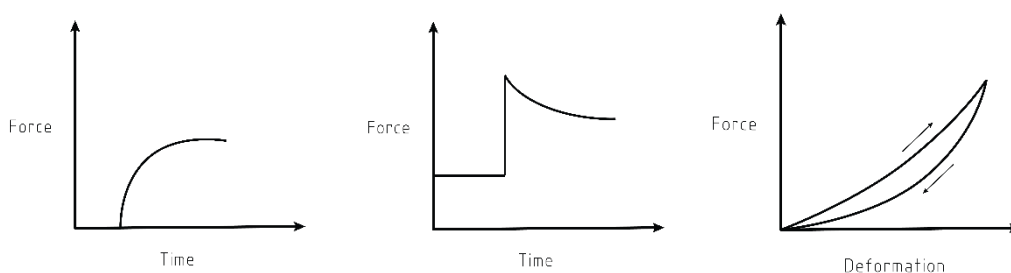
Ερπυσμός (creep): Εφαρμόζεται μια σταθερή τάση στιγμιαία, η οποία προκαλεί μια αρχική παραμόρφωση. Στη συνέχεια η τάση διατηρείται σταθερή και η παραμόρφωση συνεχίζει να αυξάνεται.

Χαλάρωση (relaxation): Εφαρμόζεται μια σταθερή παραμόρφωση στιγμιαία, η οποία προκαλεί μια αντίστοιχη τάση. Στη συνέχεια η παραμόρφωση διατηρείται σταθερή και η τάση συνεχίζει να μειώνεται.

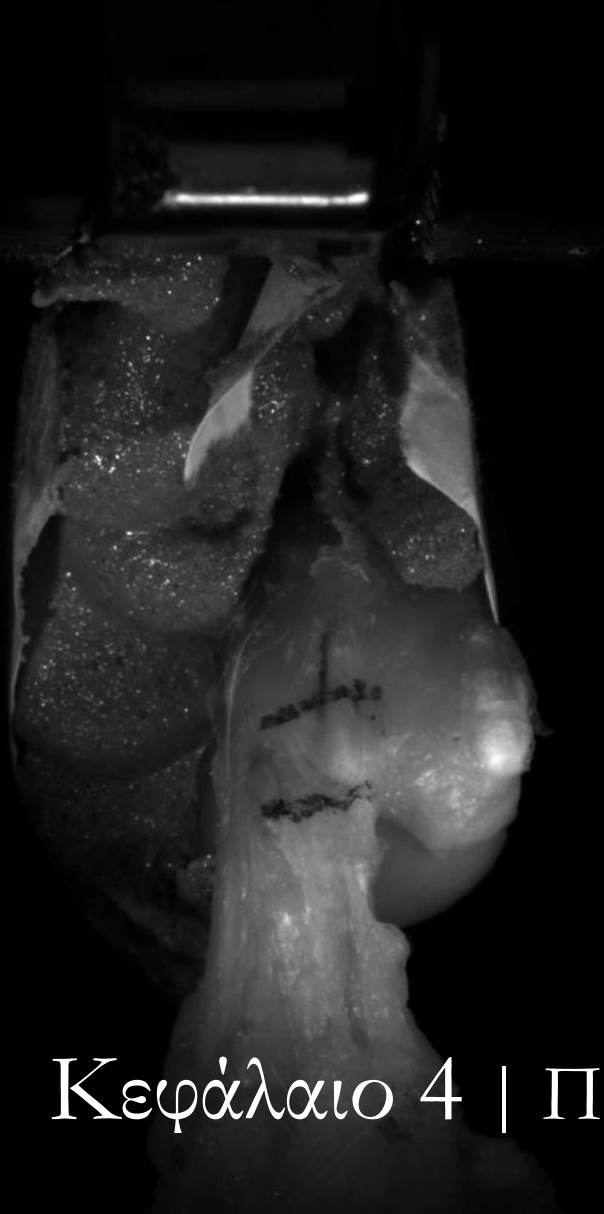
Σε αντίθεση με τα ιξωδοελαστικά υλικά, στα ελαστικά υλικά:

- Η καμπύλη φόρτισης-αποφόρτισης ταυτίζεται πάντα, εάν δεν έχει ξεπεραστεί το όριο διαρροής.
- Η τάση προκαλεί σταθερή και ανεξάρτητη του χρόνου ανηγμένη παραμόρφωση.
- Η σταθερή επιβαλλόμενη παραμόρφωση προκαλεί σταθερή και ανεξάρτητη του χρόνου τάση.

Η συμπεριφορά των ιξωδοελαστικών υλικών γίνεται πιο κατανοητή με τη βοήθεια γραφημάτων σ - ϵ . Όταν αφαιρεθεί το φορτίο, η επιστροφή στην αρχική κατάσταση δεν είναι ακαριαία.



Εικόνα 3.2 Διαγράμματα – από αριστερά προς δεξιά – ερπυσμού, χαλάρωσης και υστέρησης.



Κεφάλαιο 4 | Πειραματική Διαδικασία

4.1. Πειραματικό Πρωτόκολλο

Σκοπός

Σκοπός της μελέτης είναι να διερευνηθεί η δυνατότητα μηχανικής και ιστολογικής ενίσχυσης της αποκατάστασης χρόνιων ρήξεων ολικού πάχους του τένοντα του υπερακανθίου με πλατεία περιτονία, μέσω της χρήσης βλαστοκυττάρων προερχόμενων από αρθρικό υμένα. Για τον λόγο αυτό υλοποιήθηκαν πειράματα σε κονίλους σύμφωνα με τις διαδικασίες που περιγράφονται στη συνέχεια.

Υπόθεση

Στην παρούσα έρευνα υποθέτουμε πως ο συνδυασμός αλλομοσχεύματος πλατείας περιτονίας με την σταθεροποίηση βλαστοκυττάρων μεσεγχυματικής προέλευσης από αρθρικό υμένα, μπορεί να ενισχύσει την αποκατάσταση των χρόνιων ρήξεων του υπερακανθίου.

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Ο υπερακάνθιος μυς αποτελεί έναν ει των τεσσάρων μυών που απαρτίζουν το στροφικό πέταλο του ώμου. Εμφύεται από τον υπερακάνθιο βόθρο της ωμοπλάτης και καταφύεται στο μείζον βραχιόνιο όγκωμα. Η αυξημένη συχνότητα υποτροπιασμού της χειρουργικής αποκατάστασης λόγω ρήξεων οδήγησε σε προσπάθειες βελτιστοποίησης της επούλωσης και κατ' επέκταση της μηχανικής αντοχής. Συχνά επιδιώκεται η ενίσχυση με βιολογικούς παράγοντες (αιμοπετάλια, αυξητικοί παράγοντες, βιοϋλικά) καθώς και με μηχανικά υποστηρίγματα (ξενομοσχεύματα, αλλομοσχεύματα, συνθετικά μοσχεύματα).

Η έγχυση βλαστοκυττάρων μεσεγγυματικής προέλευσης από ενήλικες (adult derived mesenchymal stem cells - MSC) αποτελεί ενεργό πεδίο έρευνας με ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Βλαστοκύτταρα που προέρχονται από το μυελό των οστών έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές πειραματικές αλλά και κλινικές μελέτες, καθώς είναι εύκολα προσβάσιμα. Θετικά ήταν επίσης τα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιήθηκαν πολυδύναμα βλαστοκύτταρα που προέρχονται από το λιπώδη ιστό σε κουνέλια, όπου βελτιώθηκε η μυϊκή λειτουργία και μειώθηκε η λιπώδης διήθηση. Αρκετά ακόμα σημεία απομόνωσης μεσεγγυματικών βλαστοκυττάρων έχουν μελετηθεί, όπως ο αρθρικός θύλακος, μύες και τένοντες με ποικίλα αποτελέσματα που υποδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα. Ο τρόπος χορήγησης των βλαστοκυττάρων στο σημείο της ένθεσης, καθώς και η διατήρησή τους εκεί για ικανό χρονικό διάστημα έχουν επίσης μεγάλη σημασία. Ο θρόμβος ινικής έχει μελετηθεί αρκετά ως μέσο χορήγησης και σταθεροποίησης βλαστοκυττάρων με καλά αποτελέσματα, στερείται όμως αρχικής μηχανικής αντοχής.

Η μηχανική υποστήριξη της συρραφής της βλάβης απασχολεί επίσης την έρευνα τα τελευταία χρόνια, λόγω της αυξημένης συχνότητας μεγάλων ρήξεων που η άμεση συρραφή του τένοντα στο οστόν καθίσταται δύσκολη ή και αδύνατη. Στην προσπάθεια ανεύρεσης του κατάλληλου υλικού που θα βοηθήσει στην κάλυψη του χάσματος και την αποφόρτιση της αυξημένης τάσης που σχετίζεται με αυξημένο ποσοστό επαναρήξεων, έχουν χρησιμοποιηθεί ξενομοσχεύματα (βλεννογόνος λεπτού εντέρου χοίρου, εξωκυττάριο στρώμα δέρματος χοίρου), αλλομοσχεύματα (πτωματικό ακυτταρικό στρώμα δέρματος, πλατεία περιτονία), αλλά και συνθετικά υλικά (πολυγλυκολικό οξύ – PGA, πολύ-γαλακτικό-γλυκολικό οξύ - PGLA). Αλλομόσχευμα πλατίας περιτονίας έχει χρησιμοποιηθεί τόσο σε πειραματικές μελέτες όσο και στην κλινική πράξη με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Για την επίτευξη της μέγιστης μηχανικής και βιολογικής ενίσχυσης των μεγάλων ρήξεων του υπερακανθίου μυός, ο συνδυασμός της μηχανικής ενίσχυσης με μόσχευμα και έγχυση βλαστοκυττάρων θα μπορούσε να παρουσιάσει καλύτερα αποτελέσματα από την απλή ενίσχυση με μόσχευμα. Η πλατεία περιτονία είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται στην κλινική πράξη και η ανεύρεση μεθόδων που μπορούν να βελτιστοποιήσουν τα αποτελέσματα από τη χρήση της είναι ωφέλιμη για την αποκατάσταση των μεγάλων ρήξεων του υπερακανθίου τένοντα του στροφικού πετάλου του ώμου.

Στην παρούσα μελέτη, γίνεται μια προσπάθεια να συνδυαστεί η πλατεία περιτονία (προσφέροντας μηχανική αντοχή και δυνατότητα κάλυψης του χάσματος), μαζί με βλαστοκύτταρα προερχόμενα από αρθρικό υμένα ώστε να ενισχυθεί η αποκατάσταση της ρήξης του υπερακανθίου.

Μεθοδολογία

Οι κόνιλοι χωρίστηκαν σε 3 ομάδες ως εξής:

- ΟΜΑΔΑ 0 (NO):** Η ομάδα αυτή χρησιμοποιήθηκε ως ομάδα ελέγχου και αποτελείται από μη χειρουργημένα δοκίμια ως εικόνα της φυσιολογικής μηχανικής συμπεριφοράς του υπερακανθίου τένοντα.
- ΟΜΑΔΑ 1 (FL):** Στην ομάδα 1 χρησιμοποιήθηκε αλλομόσχευμα πλατείας περιτονίας.
- ΟΜΑΔΑ 2 (MSC):** Στην ομάδα 2 έγινε η παρέμβαση: ήτοι χρησιμοποιήθηκαν κατά την αποκατάσταση βλαστοκύτταρα προερχόμενα από αρθρικό υμένα.

Χρονοδιάγραμμα

Χρόνος 0

Χειρουργείο δημιουργίας ρήξης υπερακανθίου

Όλοι οι κόνιλοι (και από τις δύο ομάδες) χειρουργήθηκαν στο δεξιό ώμο, υπό γενική αναισθησία, με σκοπό τη διατομή του υπερακανθίου τένοντα, την αφαίρεση τμήματος 6mm.

– Αναμονή 6 εβδομάδων –

Χρόνος 1

Αποκατάσταση ρήξης υπερακανθίου με αλλομόσχευμα πλατείας περιτονίας (και βλαστοκυττάρων προερχόμενων από αρθρικό υμένα)

Μετά το πέρας 6 εβδομάδων ώστε οι ρήξεις να θεωρηθούν χρόνιες, όλοι οι κόνιλοι χειρουργήθηκαν στο δεξιό ώμο, υπό γενική αναισθησία, με σκοπό τη συρραφή της ρήξης ως εξής:

ΟΜΑΔΑ 1: Υπό γενική αναισθησία έγινε συρραφή του τένοντος του υπερακανθίου μύος του δεξιού ώμου με χρήση ενυδατωμένου αλλομοσχεύματος πλατείας περιτονίας ανθρώπινης προέλευσης διπλωμένης σε δύο φύλλα στην κατάφυσή του με διοστικά ράμματα Nylon 3.0.

ΟΜΑΔΑ 2: Υπό γενική αναισθησία έγινε συρραφή του τένοντος του υπερακανθίου μύος του δεξιού ώμου με χρήση αλλομοσχεύματος πλατείας περιτονίας ανθρώπινης προέλευσης στο οποίο έχουν σταθεροποιηθεί μεσεχυματικά βλαστοκύτταρα στην κατάφυσή του με διοστικά ράμματα Nylon 3.0. Η καλλιέργεια των βλαστοκυττάρων έγινε στο ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος.

– Αναμονή 12 εβδομάδων –

Χρόνος 2

Θυσία ζώου και λήψη δοκιμίου

Οι κόνικλοι και των δύο ομάδων χωρίστηκαν σε δύο περαιτέρω υποομάδες (1A, 1B, 2A, 2B) και στις δώδεκα (12) εβδομάδες χειρουργήθηκαν για αφαίρεση και λήψη της ωμοπλάτης, του βραχιονίου μαζί με τον υπερακάνθιο μυ και τον τένοντά του. Η Α υποομάδα κάθε ομάδας (1A,2A) στάλθηκε για ιστολογική εξέταση, ενώ η Β υποομάδα κάθε ομάδας (1B,2B) για εμβιομηχανική μελέτη.

Σημειώνεται ότι όλα τα ετερόπλευρα μπροστινά σκέλη των πειραματόζων (αυτά που δεν χειρουργήθηκαν) μελετήθηκαν με εμβιομηχανική μελέτη, ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα των δύο ομάδων (αποκαταστάσεις με πλατεία περιτονία με ή χωρίς βλαστοκυτταρα) με φυσιολογικούς ώμους.

Οι επεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν από τον ίδιο χειρουργό και η επιλογή της χρονικής διάρκειας έγινε κατ' αναλογία των χρόνων σε σχέση με αυτούς που απαιτούνται στον άνθρωπο, και λαμβάνοντας υπ' όψιν την ευζωία των κόνικλων.

Βλαστοκύτταρα

Τα βλαστοκύτταρα προήλθαν από την τράπεζα βλαστοκυττάρων του Ερευνητικού Εργαστηρίου «Π. Σουκάκος» του Αττικού Νοσοκομείου και καλλιεργήθηκαν από το ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος. Τα κύτταρα παρουσιάζουν μια ομοιόμορφη ατρακτοειδή μορφολογία με δύο αποφύσεις στα αντίθετα άκρα του κυττάρου. Με έλεγχο κυτταρομετρίας ροής (flow cytometry) τα κύτταρα εκφράζουν τα αντιγόνα επιφανείας CD73, 90 και 105 που είναι ενδεικτικά για τα μεσεγχυματικά βλαστοκύτταρα, ενώ είναι σχεδόν πλήρως αρνητικά για το αντιγόνο αιμοποιητικών κυττάρων CD34. Ανάλυση με RT-PCR έδειξε ότι τα κύτταρα εκφράζουν την πρωτεΐνη βιμεντίνη που είναι δείκτης μεσεγχυματικών βλαστοκυττάρων. Τέλος, τα κύτταρα διαφοροποιήθηκαν σε οστεοκύτταρα, χονδροκύτταρα και λιποκύτταρα κάτω από τις αντίστοιχες συνθήκες. Όλα τα παραπάνω συνηγορούν στο χαρακτηρισμό των παραπάνω κυττάρων ως μεσεγχυματικών βλαστοκυττάρων προερχόμενων από αρθρικό υμένα.

Δεοντολογικά Προβλήματα

Τα πειραματόζωα που χρησιμοποιήθηκαν δεν είναι κουνέλια που ανήκουν στην άγρια πανίδα και δεν απειλούνται με αφανισμό. Η εν γένει διαβίωση των κουνελιών διέπεται από τις προβλεπόμενες από τη νομοθεσία συνθήκες διαβίωσης, διατροφής και ευθανασίας. Σημειώνεται ότι κατά τη διάρκεια του πειράματος τα ζώα δεν κακοποιούνται, χειρουργούνται υπό γενική αναισθησία, με χρήση κεταμίνης 70mg/kg και ξυλαζίνης 7mg/kg im για την αναισθησία και κετοπροφένης 3mg/kg (1η δόση προεγχειρητικά, sid*1-3ημ. κατόπιν πόνου), βουτορφανόλης 0,1-0,5mg/kg (bid*1-3ημ. κατόπιν πόνου) για αναλγησία ενώ χορηγείται οξυτετρακυκλίνη μακράς δράσης 20mg/kg, μία δόση προεγχειρητικά, οφθαλμική αλοιφή τομπραμυκίνης προεγχειρητικά, παροχή οξυγόνου και θερμού υποστρώματος διεγχειρητικά, 0.9%NaCl 5-10ml/kg/h. Τα ζώα θανατώνονται με ενδοφλέβια χορήγηση

υπερδοσολογίας νατριούχου πεντοβαρβιτάλης υπό γενική αναισθησία (ίδιο πρωτόκολλο με κεταμίνη και ξυλαζίνη).

Κριτήρια Συμπερίληψης

Χρησιμοποιήθηκαν ενήλικοι αρσενικοί κόνιλοι και βάρους 4-5 χιλιογραμμάτων ώστε να επιτυγχάνεται παρόμοια ανάπτυξη και μυϊκή ισχύς.

Κριτήρια Εξαίρεσης από τη Μελέτη

Κανένα.

Κριτήρια Απόσυρσης

Οποιοδήποτε νόσημα εμφανιστεί, το οποίο επηρεάζει δυνητικά την βιολογική συμπεριφορά της φυσιολογικής εξέλιξης της επούλωσης του τένοντα.

Κάρτα Παρακολούθησης

Κάθε κάρτα περιγράφει διαχρονικά όλες τις φάσεις της εργασίας και σημειώνεται η ημερομηνία εκτέλεσης της κάθε προγραμματισμένης πράξης.

4.2. Πειραματική Διαδικασία

Οι τένοντες συνήθως ελέγχονται απομονωμένοι, σε ένα πείραμα εφελκυσμού, και επομένως απαιτείται η στερέωση των άκρων τους ή η διατήρηση του οστού που καταφύεται προς μελέτη ο τένοντας. Γενικά, συνιστάται η διατήρηση του οστού καθώς αυτό αποτελεί μία «άγκυρα» που διευκολύνει την προσάρτηση του δοκιμίου στην αρπάγη.

Στη συγκεκριμένη πειραματική μελέτη τα δοκίμια εγκιβωτίστηκαν σε εποξειδική ρητίνη Struers Epofix στο μέρος του βραχιονίου, προκειμένου να εξασφαλιστεί η καλύτερη στήριξή τους από την αρπάγη. Για την ενίσχυση της σταθερότητας του οστού εντός της ρητίνης και για την αποφυγή τυχόν στρέψης αυτού, τοποθετήθηκε μία βίδα που επρόσθετε στην κεφαλή, και τοποθετήθηκε επιπλέον εποξική ρητίνη στερέωσης τύπου epoxy ER300 εξωτερικά. Στην αντίθετη πλευρά, ο μυς του υπερακανθίου προσδέθηκε στην αρπάγη μετά τη ψύξη αυτής με χρήση υγρού αζώτου, επιτρέποντας στο μυ να συγκολληθεί στην αρπάγη.

Στη συνέχεια, τα παρασκευάσματα τοποθετήθηκαν εντός συσκευής εμβιομηχανικής μελέτης (MTS Insight, η οποία διαθέτει βαθμονομημένη κυψελίδα στο εύρος 0-10 kN και video extensometer) και εφαρμόστηκε ελεγχόμενη διάταση με ρυθμό 20mm/min μέχρι το σημείο της μηχανικής αστοχίας, το οποίο αντιστοιχούσε στο σημείο ρήξης του τένοντα.

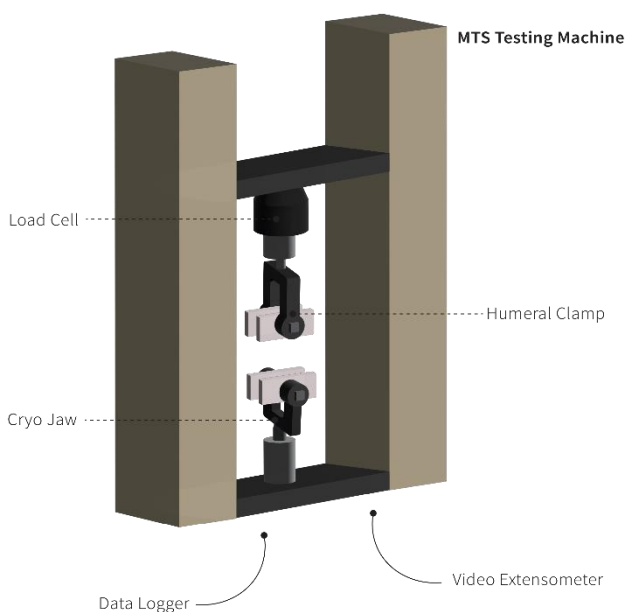
Σημειώνεται ότι τα δείγματα τοποθετήθηκαν περίπου υπό γωνία 40 μοιρών για να προσομοιώνεται η φυσική γεωμετρία της άρθρωσης.

Πειραματικός Εξοπλισμός

Για την πραγματοποίηση της εμβιομηχανικής δοκιμασίας που περιγράφεται στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε η διάταξη εφελκυσμού μαλακών ιστών του εργαστηρίου Εμβιομηχανικής του Τομέα Μηχανικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών.

Οι δοκιμές εφελκυσμού έγιναν σε ηλεκτρομηχανικό πλαίσιο φόρτισης MTS Insight με δυνατότητα επιβολής αξονικού φορτίου έως 10kN, ενώ χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της LIMESS Messtechnik & Software GmbH, για την καταγραφή δύναμης - επιμήκυνσης και ένα δισδιάστατο μηγνυσιόμετρο Video (Video 2d Extensometer).

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε εξοπλισμός για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του δοκιμίου, υγρό άζωτο για την ταχεία ελεγχόμενη ψύξη των αρπάγων, κατάλληλο λογισμικό καθώς και διάταξη μέτρησης του εμβαδού του τένοντα.



Εικόνα 4.1 Σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμασία εφελκυσμού.

Προετοιμασία Δοκιμίων

Βήμα 1 – Φύλαξη δοκιμίων: Έπειτα από το χειρουργείο αφαίρεσης της ωμοπλάτης τα δείγματα τυλίχθηκαν με γάζα και φυλάχθηκαν σε πλαστικά δοχεία για αποθήκευση σε καταψύκτη μέχρι την ώρα του πειράματος.

Βήμα 2 – Απόψυξη δοκιμίων: Τα δοκίμια αφαιρέθηκαν από τον καταψύκτη και με ζεστό νερό ήρθαν σε θερμοκρασία δωματίου, ενώ τυλίχθηκαν εκ νέου με βρεγμένες γάζες ώστε να αποφευχθεί η αφυδάτωσής τους.

Βήμα 3 – Καθαρισμός δοκιμίων: Αφαιρέθηκε οποιοδήποτε μέρος της άρθρωσης μπορεί να παραληφθεί (π.χ. ωμοπλάτη) και καθαρίστηκε με χρήση ατραυματικής λαβίδας το βραχιόνιο οστό από τους πέριξ ιστούς, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή συγκράτηση αυτού. Στο στάδιο αυτό επίσης γίνεται η μέτρηση των διατάσεων του καθαρού τένοντα του κάθε δοκιμίου.

Βήμα 4 – Προσαρμογή δοκιμίων: Τοποθετείται μέρος του βραχιονίου οστού σε εποξειδική ρητίνη για τη δημιουργία μίας ενιαίας ασυμπίεστης δομής για την καλύτερη συγκράτηση του μέρους αυτού στην αρπάγη. Για την προσάρτηση του υπερακανθίου ψύχεται η αρπάγη με χρήση υγρού αζώτου ώστε ο μαλακός ιστός να μπορέσει να κολλήσει πάνω στο παγωμένο μέταλλο και να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα γλιστρήματος. Σημαντικό είναι επίσης, κατά τη στερέωση του δοκιμίου, αυτό να τοποθετηθεί στη φυσιολογική του θέση ώστε να επέλθει αστοχία αντίστοιχα όπως κατά τη φυσιολογική κίνηση.

Δοκίμια

Συνολικά, έγιναν πειράματα σε 16 δοκίμια, αλλά μόνο τα 12 συμπεριλήφθηκαν στα αποτελέσματα καθώς τα 4 αρχικά πειράματα κρίθηκαν δοκιμαστικά. Τα συνολικά στοιχεία των δοκιμών παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί.

Samples	Test Date	Tendon Area [sqmm]	Weight[kg]	Max Load [N]	Max Stress [MPa]
B5non	08-Dec-22	0.098	4.50	341.85	3506.15
B6non	17-Dec-22	0.161	5.20	594.00	3684.86
B7non	17-Dec-22	0.186	4.28	653.00	3510.75
B9non	17-Dec-22	0.203	4.36	500.00	2463.05
B10non	06-Dec-22	0.248	4.40	483.05	1951.72
B11non	08-Dec-22	0.130	4.00	395.07	3039.00
B1oper	08-Dec-22	0.163	4.72	143.12	880.74
B10oper	08-Dec-22	0.260	4.40	72.37	278.35
B11oper	08-Dec-22	0.288	4.00	99.08	344.03
B5oper	08-Dec-22	0.122	4.50	171.97	1411.90
B7oper	17-Dec-22	0.092	4.28	120.00	1304.35
B9oper	17-Dec-22	0.103	4.36	140.00	1360.54

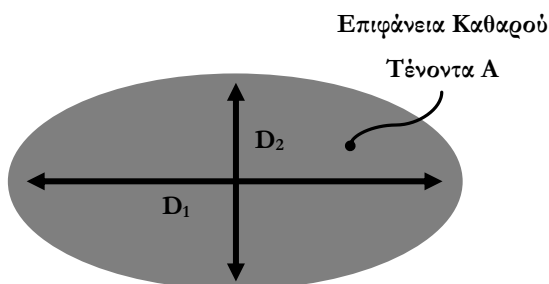
Στατιστική Ανάλυση

Για την εμπιομηχανική μελέτη υπολογίστηκε ότι απαιτείται ένα δείγμα 5 πειραματόζων ανά ομάδα για να έχουμε 80% πιθανότητα να αναδείξουμε διαφορά στην ομάδα πλατείας περιτονίας (FL) και την ομάδα βλαστοκυττάρων (MSC) πάνω από 20 μονάδες στο δείκτη ultimate failure (Load, N) με επίπεδο σημαντικότητας 5% (τεστ διπλής κατεύθυνσης).

4.3. Επεξεργασία Πρωτογενών Δοκιμών

Το σκέλος της επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων περιλαμβάνει ανάλυση των μετρήσεων καθώς και τον υπολογισμό των απαραίτητων φυσικών μεγεθών και των κατάλληλων ποσοτήτων για γραφική αναπαράσταση με σκοπό την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων.

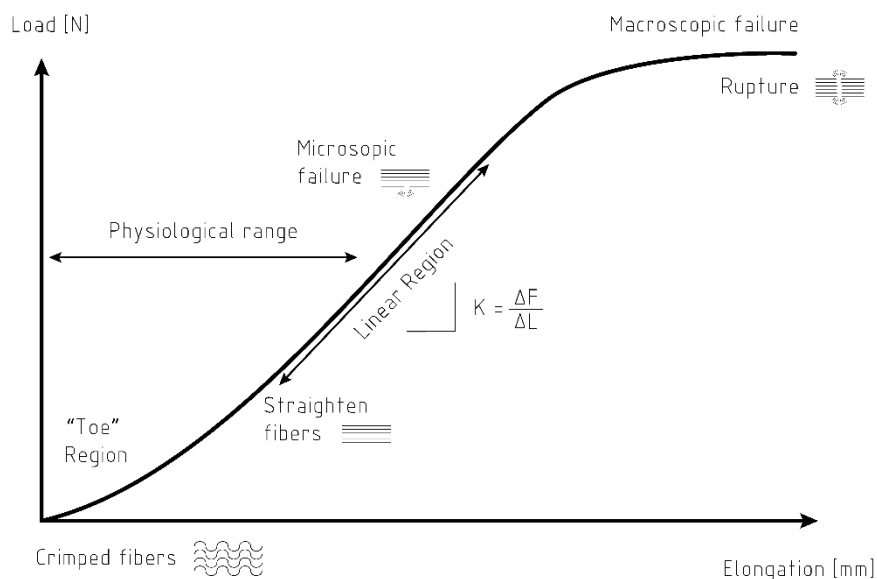
Από κάθε δείγμα κατά το στάδιο της προετοιμασίας του πειράματος προκύπτουν δύο τιμές για τους άξονες της επιφάνειας του καθαρού τένοντα. Θεωρήθηκε ότι μία ελλειπτική επιφάνεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ικανοποιητική προσέγγιση της επιφάνειας του τένοντα. Οι δύο τιμές του μεγάλου και του μικρού άξονα της έλλειψης μετρήθηκαν με παχύμετρο και η επιφάνεια υπολογίζεται από τη σχέση $A = \pi(D_1 D_2)/4$.



Τα τελικά δεδομένα, μετά από ένα πρώτο στάδιο επεξεργασίας στο Microsoft Excel, μεταφέρθηκαν στο MATLAB για ομαδοποίηση και δημιουργία τελικών γραφημάτων.

Η ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων έγινε σύμφωνα με τη μέθοδο επεμβατικής αποκατάστασης όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ώστε να μπορούν να εξαχθούν δεδομένα για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου και τη μηχανική της αντοχή συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Από την πειραματική διαδικασία προέκυψαν δεδομένα φόρτισης και επιμήκυνσης για κάθε δείγμα, και από το αντίστοιχο διάγραμμα μπορούμε να δούμε τη συμπεριφορά του τένοντα κατά τον εφελυσμό.

Ενδεικτικά, ένα χαρακτηριστικό διάγραμμα Φορτίου – Επιμήκυνσης είναι αυτό που παρουσιάζεται στη συνέχεια και το οποίο μπορεί να αναχθεί στο αντίστοιχο διάγραμμα Τάσης – Παραμόρφωσης.



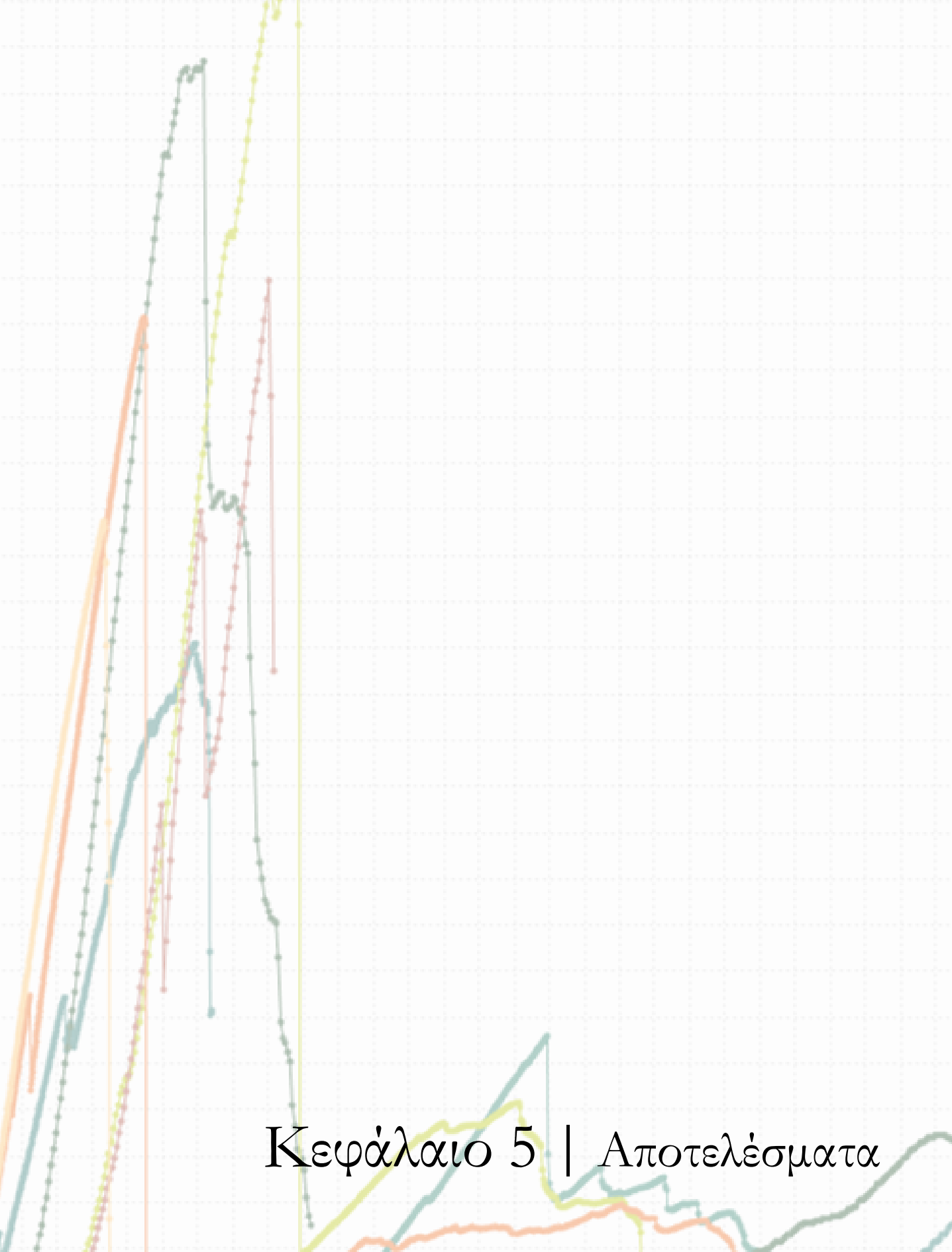
Εικόνα 4.2 Τυπικό διάγραμμα φόρτισης – επιμήκυνσης συνδετικών ιστών

Οι καμπύλες δύναμης - επιμήκυνσης των περισσότερων συνδέσμων και τενόντων έχουν χαρακτηριστικό σχήμα.

Στην καθημερινή ζωή, οι τένοντες υπόκεινται σε σημαντικά εφελυστικά φορτία και η συμπεριφορά τους είναι κατά κύριο λόγο ελαστική. Επιμηκύνονται κατά την εφαρμογή του φορτίου και επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση με την απομάκρυνση αυτού. Αν η τάση ξεπεράσει μία κρίσιμη τιμή, μπορούν να προκληθούν μικροσκοπικές ή και μακροσκοπικές ρήξεις των ινών του τένοντα. Η αρχική περιοχή αμέσως μετά την εφαρμογή εφελυστικού φορτίου έχει καμπύλο, κοίλο προς τα πάνω σχήμα, καθώς και μικρότερη κλίση από την επόμενη γραμμική περιοχή της καμπύλης. Στην περιοχή αυτή «toe region», ο τένοντας μπορεί να παραμορφωθεί σε ένα ποσοστό περίπου 2%.

Στην περιοχή αυτή μικρών παραμορφώσεων οι ίνες κολλαγόνου αρχίζουν να «ξεδιπλώνονται» και να χάνουν την πτυχωτή δομή τους (crimp pattern). Σημειώνεται ότι η δομή αυτή οφείλεται σε δεσμούς υδρογόνου που σχηματίζονται μεταξύ των ινών.

Αφού όλες οι ίνες κολλαγόνου έχουν ευθυγραμμιστεί, η καμπύλη εισέρχεται σε μια γραμμική περιοχή όταν όλες οι ίνες κολλαγόνου εφελκύνονται ομοιόμορφα και η κατανομή του φορτίου είναι ομοιόμορφη. Καθώς πλησιάζουμε σε μεγαλύτερα φορτία παρατηρούνται μερικές ρήξεις μεμονωμένων ινών, οι οποίες είναι οι μικρότερες σε επιφάνεια διατομής και καταλήγουμε σε μία δεύτερη κυρτή μη γραμμική περιοχή όπου εκεί καταγράφεται και η μέγιστη αντοχή των υπολοίπων ινών του μύος πριν την ολική ρήξη.



Κεφάλαιο 5 | Αποτελέσματα

5.1. Εμβιομηχανικά Αποτελέσματα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε μία συγκριτική μελέτη δύο μεθόδων για την αποκατάσταση χρόνιων ρήξεων υπερακανθίου τένοντα. Δοκιμάστηκαν έξι δοκίμια από την ομάδα ελέγχου και τρία από την κάθε ομάδα ενδιαφέροντος αντίστοιχα. Η πρώτη τεχνική που εξετάστηκε – στην οποία η αποκατάσταση πραγματοποιείται με αλλομόσχευμα πλατείας περιτονίας – χρησιμοποιείται ευρέως αλλά παρά το γεγονός ότι επιδιορθώνεται ο τένοντας, αναφέρεται κυρίως σε μία μηχανική ενίσχυση χωρίς βιολογικές ικανότητες με αποτέλεσμα την δημιουργία ουλώδους ιστού που περικλείει τον κίνδυνο επαναρρήξεων. Το πρόβλημα αυτό προσπαθεί να επιλύσει η δεύτερη μέθοδος που μελετάται στην εργασία αυτή. Η σταθεροποίηση βλαστοκυττάρων προερχόμενα από αρθρικό υμένα στη συρραφή αποτελεί μία βιολογική ενίσχυση που ωφελεί την επούλωση της περιοχής και βοηθά στην αύξηση της μηχανικής της αντοχής.

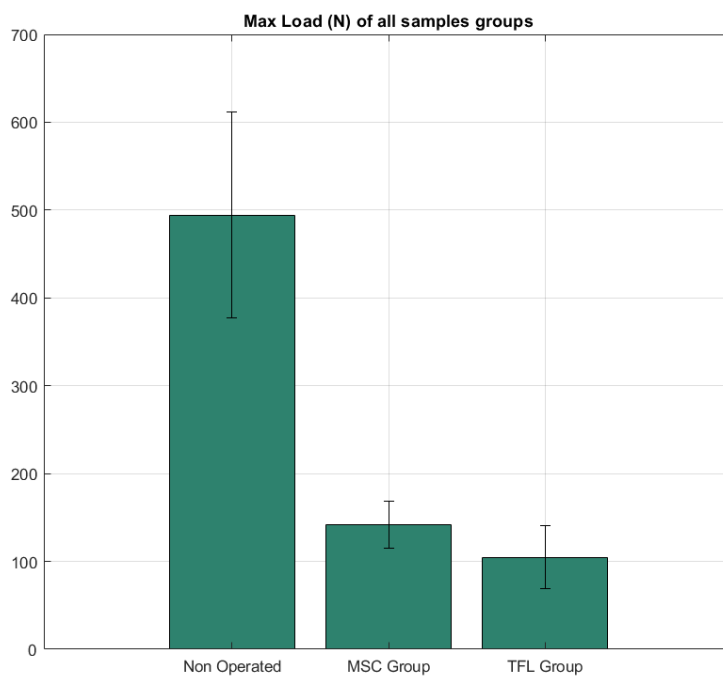
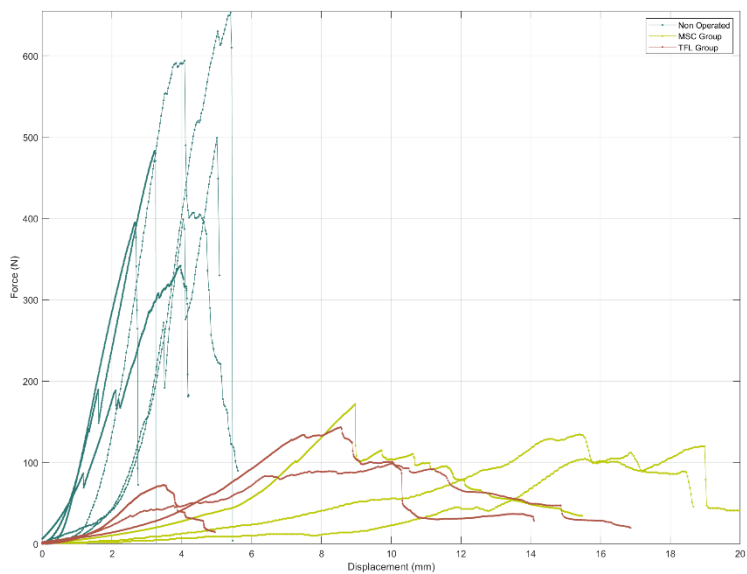
Κατά την πειραματική διαδικασία σημειώθηκε ο τρόπος κατάρρευσης των δοκιμίων και παρατηρήθηκε ότι στην ομάδα ελέγχου είχαμε δύο ρήξεις μυοτενοντίου και τέσσερις ρήξεις στην κατάφυση του τένοντα. Αντίθετα, στις ομάδες μελέτης είχαμε μόνο ρήξεις στην κατάφυση.

Μελετήθηκε επίσης και η μηχανική συμπεριφορά των δοκιμίων κατά την παραλαβή του φορτίου όπως φαίνεται και στα αντίστοιχα διαγράμματα Δύναμης – Επιμήκυνσης. Έπειτα από το πείραμα μονοαξονικού εφελκυσμού που υποβλήθηκαν τα δοκίμια και την επεξεργασία των δεδομένων που αποκομίσθηκαν από αυτά, οδηγηθήκαμε στα ακόλουθα συμπεράσματα, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά.

Κατά μέση τιμή, το μέγιστο φορτίο (Failure Load) που παρέλαβε ο τένοντας προτού καταρρεύσει ήταν 494 N στην ομάδα ελέγχου, 104 N στην ομάδα TFL και 142 N στην ομάδα MSC. Τα φορτία αυτά επιτεύχθηκαν σε επιμηκύνσεις (Displacement) 5.4 mm, 7.5 mm και 15.4 mm κατά μέση τιμή, αντίστοιχα, ανά ομάδα. Τέλος, η στιβαρότητα (Stiffness) ανά ομάδα υπολογίστηκε στα 227.8 N/mm, 33.1 N/mm και 33.2 N/mm αντίστοιχα.

Results of Biomechanical test			
Group	Failure load [N]	Displacement [mm]	Stiffness [N/mm]
Non Operated			
Mean	494.33	5.40	227.77
SD	116.93	2.45	59.73
Median	491.03	4.68	222.70
TFL Group			
Mean	104.86	7.45	33.13
SD	35.73	3.31	4.40
Median	99.08	8.56	30.91
MSC Group			
Mean	142.32	15.41	33.22
SD	26.75	6.44	5.94
Median	135.00	15.39	29.83

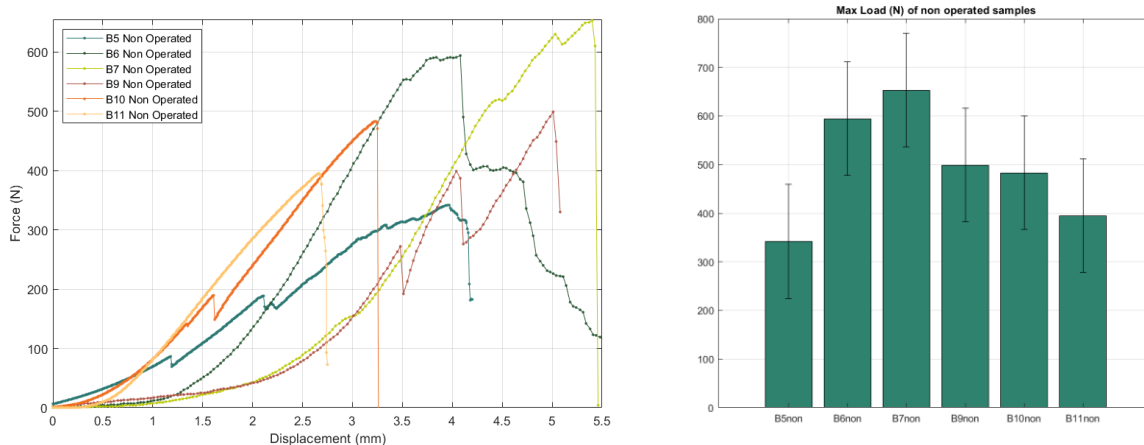
Πίνακας 5.1 - Εμβιομηχανικά Αποτελέσματα



Γράφημα 5.1 - Μέγιστα φορτία ανά ομάδα

Ομάδα 0 (NO)

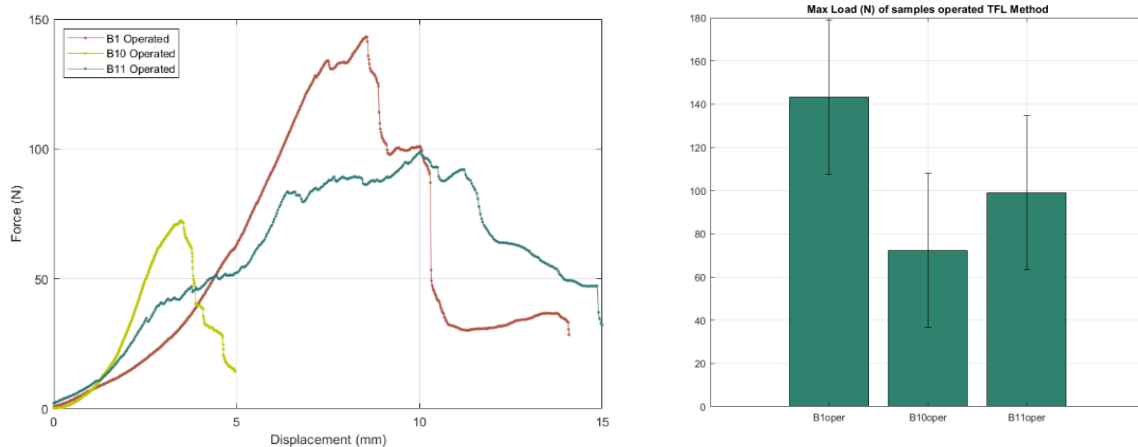
Η ομάδα 0 αποτέλεσε την ομάδα ελέγχου μας με άθικτο τον υπερακάνθιο τένοντα, ώστε να εξεταστεί η φυσιολογική συμπεριφορά του στις εξεταζόμενες συνθήκες φόρτισης. Όπως παρατηρούμε, σε όλα τα δοκίμια είχαμε τη θεωρητικά αναμενόμενη μηχανική συμπεριφορά με μία «toe» αρχική περιοχή μέχρι το «ξεδίπλωμα» των ινών κολλαγόνου, την ελαστικά γραμμική περιοχή με κάποιες μικρές ρήξεις, και, τέλος, ένα προσωρινό plateau πριν την πτώση φορτίου. Σημειώνεται ότι στα δοκίμια καταγράφηκαν σχετικά συμβατές τιμές μέγιστου φορτίου, παρόλ' αυτά η πληροφορία αυτή δε μπορεί να ληφθεί υπόψιν ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του τένοντα.



Γράφημα 5.2 - Διαγράμματα Φόρτισης - Επιμήκυνσης και Ραβδόγραμμα μέγιστων φορτίων μη χειρουργημένων δοκιμών.

Ομάδα 1 (TFL)

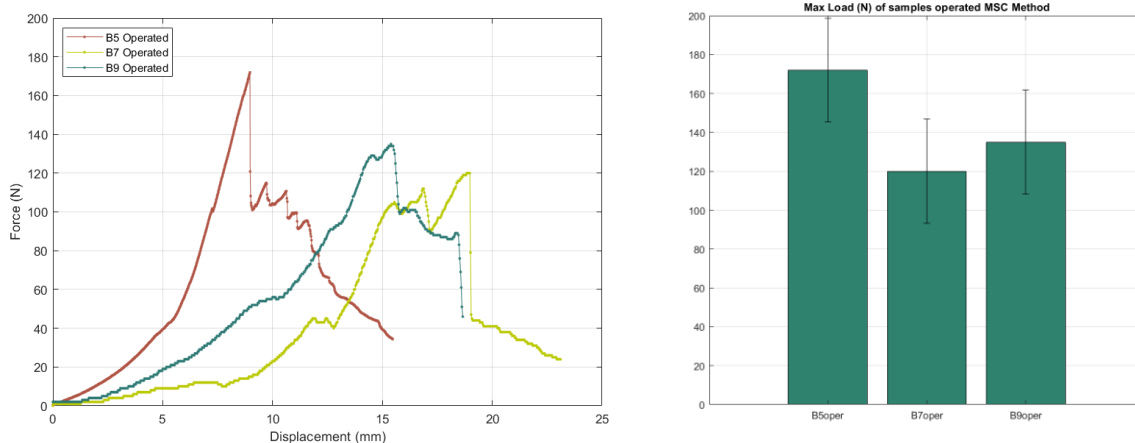
Η ομάδα 1 αποτέλεσε την πρώτη ομάδα μελέτης όπου έγινε ολική ρήξη υπερακανθίου και μετά από το προκαθορισμένο από το πειραματικό πρωτόκολλο διάστημα έγινε αποκατάσταση αυτής με χρήση αλλομοσχεύματος πλατείας περιτονίας.



Γράφημα 5.3 - Διαγράμματα Φόρτισης - Επιμήκυνσης και Ραβδόγραμμα μέγιστων φορτίων της ομάδας TFL, όπου έγινε αλλομοσχεύματος πλατείας περιτονίας.

Ομάδα 2 (MSC)

Η ομάδα 2 αποτέλεσε τη δεύτερη ομάδα μελέτης όπου έγινε η παρέμβαση, ήτοι χρησιμοποιήθηκαν κατά την αποκατάσταση βλαστοκύτταρα προερχόμενα από αρθρικό υμένα.



Γράφημα 5.4 - Διαγράμματα Φόρτισης - Επιμήκυνσης και Ραβδόγραμμα μέγιστων φορτίων της ομάδας MSC, όπου χρησιμοποιήθηκαν κατά την αποκατάσταση βλαστοκύτταρα προερχόμενα από αρθρικό υμένα.

5.2. Συμπεράσματα

Αναφορικά με το μέγιστο εφελκυστικό φορτίο που παρέλαβε κάθε ομάδα, από την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων συμπεραίνεται ότι η σταθεροποίηση βλαστοκυττάρων αύξησε σε κάποιο βαθμό την κατά μέσο όρο αντοχή των δοκιμίων σε εφελκυσμό, γεγονός που θα μπορούσε να υποδηλώνει καλύτερη μηχανική αντοχή και μικρότερο κίνδυνο επαναρρήξεων μετά την αποκατάσταση της αρχικής ρήξης.

Σχετικά με την επιμήκυνση μέχρι το όριο κατάρρευσης, φαίνεται ότι στην ομάδα όπου έγινε η παρέμβαση με την σταθεροποίηση βλαστοκυττάρων είχαμε σημαντική αύξηση της επιμήκυνσης μέχρις ότου να διαρραγεί ο τένοντας γεγονός που θα μπορούσε να οφείλεται στη διαφορά της ελαστικότητας του μυϊκού έναντι του ουλώδους ιστού που αναπτύσσεται στη συρραφή.

Τέλος, για το μέτρο στιβαρότητας υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στην ομάδα ελέγχου και τις ομάδες μελέτης, αφού, όπως είναι λογικό, η αντοχή σε μία αρχική ρήξη είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με μία δεύτερη ρήξη ανεξαρτήτως της μεθόδου αποκατάστασης.

5.3. Συζήτηση Αποτελεσμάτων

Κρίνεται απαραίτητο να σημειωθεί ότι παρά την όποια συμβατότητα των μέχρι τώρα αποτελεσμάτων μας με τα θεωρητικώς αναμενόμενα, η παρούσα μελέτη παραμένει εν εξελίξει ώστε να επιβεβαιωθούν σε μεγαλύτερο αριθμό δειγμάτων.

Κάποιες προκλήσεις που συναντήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία είναι:

1. Η σταθερή συγκράτηση του δοκιμίου χωρίς βλάβη και χωρίς αλλοίωση των ιδιοτήτων του δοκιμαζόμενου τένοντα.
2. Η ορθή αναγωγή των μετρούμενων
 - Δυνάμεων σε τάσεις
 - Μετατοπίσεων σε παραμορφώσεις

(Μεγέθη που επιτρέπουν τη μελέτη του υλικού και όχι του συγκεκριμένου δοκιμίου)
3. Το πρόβλημα της προέντασης

Για την αντιμετώπιση του πρώτου προβλήματος προτάθηκε η χρήση κρουο-αρπαγών ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκράτηση με ψύξη μόνο του μυός και όχι του τένοντα υπό μελέτη.

Για την αναγωγή σε τάσεις έγινε προσδιορισμός της επιφάνειας του καθαρού τένοντα με χρήση παχύμετρου. Παρόλ' αυτά η μέτρηση εμφανίζει σημαντικά σφάλματα καθώς η ύπαρξη τόσο μυός όσο και ουλώδους ιστού δυσχέραινε τον ακριβή υπολογισμό.

Για την αναγωγή σε παραμορφώσεις, δεν κατέστη εφικτός ο ακριβής προσδιορισμός της μετατόπισης ενός σημείου του τένοντα κατά τη διάρκεια του πειράματος. Επομένως, υπάρχει μονάχα μία προσεγγιστική τιμή της παραμόρφωσης του συστήματος μυς-τένοντας, που όμως κρίνεται μη αξιοποιήσιμη λόγω πλήθους απροσδιόριστων παραμέτρων.

Τέλος, επιλέχθηκε να μη γίνει κύκλος φορτίσεων για την προένταση των δοκιμίων ώστε να περιοριστεί ο χρόνος στην κρυο-αρπάγη και να μην επηρεαστούν οι μηχανικές ιδιότητες του τένοντα λόγω θερμοκρασιακών αλλαγών.

5.4. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Το πεδίο της εμβιομηχανικής μαλακών συνδετικών ιστών χαρακτηρίζεται από την έλλειψη πειραματικών δεδομένων οπότε η περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο κρίνεται απαραίτητη.

Παράλληλα για την πληρέστερη μελέτη και κατανόηση των φαινομένων που διαδραματίζονται κατά τη διάρκεια του πειράματος, θα ήταν χρήσιμη η καταγραφή των παραμορφώσεων και της θερμοκρασίας σε όλη την έκταση του δοκιμίου κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Γενικότερα, οι δοκιμές διαφορετικών ρυθμών φόρτισης, εναλλακτικών τρόπων άσκησης του φορτίου ή και η άσκηση κύκλων φόρτισης θα μπορούσε να συμβάλει στην τυποποίηση της πειραματικής διαδικασίας που θα οδηγούσε ευκολότερα σε ποσότητες ανεξάρτητες των χαρακτηριστικών των δοκιμίων τη στιγμή της αστοχίας.

Σημαντική θα ήταν επίσης η δημιουργία ενός μοντέλου του υπό μελέτη συστήματος για την παραμετρική μελέτη αυτού και τη σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων με αριθμητικές λύσεις.

Τέλος, χρήσιμη για τον εμπλουτισμό των διαθέσιμων πειραματικών δεδομένων θα ήταν και η εισαγωγή άλλων χειρουργικών μεθόδων υπο μελέτη.

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

Πρωτογενή Δεδομένα

Στο Παράρτημα αυτό παρατίθενται ενδεικτικοί πίνακες με τα πρωτογενή δεδομένα και την επεξεργασία που έχουν υποστεί ώστε να ανακτηθούν τα τελικά, έπειτα από την αναγκαία επεξεργασία, δεδομένα τα οποία χρησίμευσαν για την δημιουργία των γραφημάτων που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων.

Αρχικά Δοκίμια

Samples	ID	Operation	Tear Date	Operation Date	Extraction Date	Test Date	Weight [kg]	Tendon R [sqmm]	Tendon E [sqmm]	Max Load [N]
B1non	B/FL-B01	Operated	09-Jun-22	21-Jul-22	05-Dec-22	06-Dec-22	4.72			
B1oper	B/FL-B01	Operated	09-Jun-22	21-Jul-22	05-Dec-22	08-Dec-22	4.72	0.16	0.13	143.12
B2	B/FL-B02	Operated	09-Jun-22	21-Jul-22	12-Oct-22	25-Nov-22	4.1			
B3	B/FL-B03	Operated	09-Jun-22	21-Jul-22	13-Oct-22	18-Nov-22	4.66			
B4	B/MSC-H01	Operated	14-Jun-22	27-Jul-22	13-Oct-22	15-Nov-22	5.14			
B5non	B/MSC-H02	Non Operated	14-Jun-22	26-Jul-22	06-Dec-22	08-Dec-22	4.50	0.10	0.08	341.85
B5oper	B/MSC-H02	Operated	14-Jun-22	26-Jul-22	06-Dec-22	08-Dec-22	4.50	0.12	0.10	171.97
B6non	B/MSC-H03	Non Operated	14-Jun-22	26-Jul-22	13-Dec-22	17-Dec-22	5.20	0.16	0.13	594.00
B6oper	B/MSC-H03	Operated	14-Jun-22	26-Jul-22	13-Dec-22		5.20			
B7non	B/MSC-B01	Non Operated	16-Jun-22	28-Jul-22	13-Dec-22	17-Dec-22	4.28	0.19	0.15	653.00
B7oper	B/MSC-B01	Operated	16-Jun-22	28-Jul-22	13-Dec-22	17-Dec-22	4.28	0.09	0.07	120.00
B8	B/MSC-B02	Dead	16-Jun-22				2.6			
B9non	B/MSC-B03	Non Operated	16-Jun-22	28-Jul-22	13-Dec-22	17-Dec-22	4.36	0.20	0.16	499.00
B9oper	B/MSC-B03	Operated	16-Jun-22	28-Jul-22	13-Dec-22	17-Dec-22	4.36	0.10	0.08	135.00
B10non	B/FL-H01	Non Operated	21-Jun-22	02-Aug-22	05-Dec-22	06-Dec-22	4.40	0.25	0.19	483.05
B10oper	B/FL-H01	Operated	21-Jun-22	02-Aug-22	05-Dec-22	08-Dec-22	4.40	0.26	0.20	72.37
B11non	B/FL-H02	Non Operated	21-Jun-22	02-Aug-22	06-Dec-22	08-Dec-22	4.00	0.29	0.23	395.07
B11oper	B/FL-H02	Operated	21-Jun-22	02-Aug-22	06-Dec-22	08-Dec-22	4.00	0.29	0.23	99.08
B12	B/FL-H03	Dead	21-Jun-22				2.7			

Δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν (ανά ομάδα μελέτης)

Samples	Test Date	Tendon Area [sqmm]	Weight[kg]	Max Load [N]	Max Stress [MPa]
B5non	08-Dec-22	0.098	4.50	341.85	3506.15
B6non	17-Dec-22	0.161	5.20	594.00	3684.86
B7non	17-Dec-22	0.186	4.28	653.00	3510.75
B9non	17-Dec-22	0.203	4.36	500.00	2463.05
B10non	06-Dec-22	0.248	4.40	483.05	1951.72
B11non	08-Dec-22	0.130	4.00	395.07	3039.00
B1oper	08-Dec-22	0.163	4.72	143.12	880.74
B10oper	08-Dec-22	0.260	4.40	72.37	278.35
B11oper	08-Dec-22	0.288	4.00	99.08	344.03
B5oper	08-Dec-22	0.122	4.50	171.97	1411.90
B7oper	17-Dec-22	0.092	4.28	120.00	1304.35
B9oper	17-Dec-22	0.103	4.36	140.00	1360.54

Πειράματα Μονοαξονικού Εφελκυσμού

Sample B5n		Sample B6n		Sample B7n		Sample B9n		Sample B10n		Sample B11n	
[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]
0.002	6.450	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.000	-6.000	0.016	0.780	0.001	0.220
0.012	6.470	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.000	-6.000	0.024	1.090	0.011	0.430
0.019	6.640	0.000	0.000	0.000	-1.000	0.000	-6.000	0.032	1.260	0.018	0.010
0.028	7.260	0.001	0.000	0.000	-1.000	0.004	-6.000	0.040	1.340	0.026	0.250
0.036	7.430	0.006	0.000	0.009	-1.000	0.014	-6.000	0.049	1.370	0.035	0.180
0.044	7.980	0.014	0.000	0.014	-1.000	0.023	-5.000	0.057	1.590	0.043	0.250
0.052	8.330	0.023	0.000	0.021	-1.000	0.030	-5.000	0.065	1.650	0.052	0.040
0.061	8.810	0.033	0.000	0.031	-1.000	0.043	-5.000	0.074	1.800	0.060	0.290
0.069	8.940	0.043	0.000	0.043	-1.000	0.055	-4.000	0.082	1.980	0.068	0.200
0.077	9.500	0.057	0.000	0.055	-1.000	0.069	-4.000	0.090	2.160	0.077	0.270
0.086	10.070	0.072	0.000	0.069	-1.000	0.085	-4.000	0.099	2.320	0.085	0.070
0.094	9.860	0.087	0.000	0.087	-1.000	0.103	-3.000	0.107	2.460	0.094	0.430
0.102	10.690	0.104	1.000	0.105	-1.000	0.122	-2.000	0.115	2.750	0.102	0.200
0.111	10.930	0.124	1.000	0.123	-1.000	0.144	-2.000	0.123	2.850	0.110	0.150
0.119	11.380	0.146	1.000	0.144	-1.000	0.166	-1.000	0.132	2.910	0.118	0.060
0.128	11.730	0.167	1.000	0.167	-1.000	0.192	0.000	0.140	3.100	0.127	0.150
0.136	12.040	0.193	1.000	0.191	-1.000	0.217	1.000	0.148	3.310	0.135	0.230
0.145	12.360	0.218	1.000	0.217	0.000	0.246	2.000	0.157	3.440	0.143	0.090
0.153	12.760	0.246	1.000	0.245	0.000	0.275	2.000	0.165	3.760	0.152	0.160
0.161	13.740	0.276	1.000	0.275	0.000	0.305	3.000	0.173	3.980	0.160	0.160
0.169	13.520	0.306	1.000	0.306	0.000	0.338	4.000	0.182	4.180	0.168	0.060
0.178	13.990	0.339	2.000	0.339	0.000	0.371	4.000	0.190	4.430	0.177	0.310
0.186	14.580	0.370	2.000	0.373	0.000	0.404	5.000	0.198	4.690	0.185	0.160
0.195	14.680	0.405	2.000	0.405	1.000	0.438	5.000	0.207	4.930	0.193	0.190
0.203	15.400	0.438	2.000	0.439	1.000	0.471	6.000	0.215	5.390	0.202	0.340
0.211	15.680	0.471	2.000	0.472	1.000	0.504	7.000	0.223	5.480	0.210	0.350
0.219	15.980	0.504	3.000	0.506	1.000	0.537	7.000	0.232	5.570	0.218	0.260
0.228	16.550	0.538	4.000	0.537	1.000	0.570	7.000	0.240	5.840	0.227	0.300
0.236	16.700	0.571	4.000	0.571	1.000	0.605	8.000	0.248	6.080	0.235	0.100
0.244	16.960	0.605	4.000	0.605	1.000	0.637	9.000	0.257	6.390	0.244	0.430
0.252	17.520	0.637	4.000	0.637	1.000	0.673	9.000	0.265	6.660	0.252	0.400
0.261	18.130	0.673	5.000	0.671	1.000	0.705	9.000	0.273	6.990	0.260	0.570
0.269	18.430	0.704	5.000	0.705	1.000	0.738	10.000	0.282	7.240	0.268	0.510
0.278	18.830	0.738	5.000	0.738	1.000	0.772	10.000	0.290	7.660	0.277	0.690
0.286	19.450	0.772	6.000	0.772	2.000	0.804	11.000	0.299	8.110	0.285	0.940
0.295	19.990	0.804	7.000	0.806	2.000	0.838	12.000	0.307	8.560	0.293	0.780
0.303	20.340	0.838	7.000	0.839	2.000	0.871	12.000	0.315	8.840	0.302	0.910
0.311	20.680	0.871	7.000	0.872	2.000	0.903	13.000	0.323	9.370	0.310	1.260
0.319	20.980	0.905	7.000	0.905	2.000	0.937	13.000	0.332	9.710	0.318	1.550
0.328	21.710	0.937	8.000	0.938	2.000	0.970	14.000	0.340	10.150	0.327	1.830
0.336	21.980	0.970	9.000	0.971	2.000	1.004	14.000	0.349	10.680	0.335	2.100
0.344	22.500	1.004	9.000	1.005	2.000	1.036	14.000	0.357	11.040	0.344	2.330
0.353	22.880	1.038	10.000	1.038	3.000	1.072	15.000	0.365	11.610	0.352	2.630
0.361	23.480	1.072	11.000	1.072	3.000	1.104	15.000	0.373	12.190	0.360	3.090
0.369	23.780	1.104	12.000	1.104	4.000	1.138	16.000	0.382	12.630	0.368	3.510
0.378	24.460	1.139	13.000	1.137	4.000	1.172	16.000	0.390	13.100	0.377	3.660
0.386	24.990	1.171	14.000	1.172	4.000	1.205	17.000	0.398	13.510	0.385	4.190
0.395	25.380	1.205	15.000	1.205	4.000	1.238	18.000	0.407	14.120	0.393	4.320

0.403	25.800	1.238	17.000	1.238	5.000	1.271	19.000	0.415	14.620	0.402	4.550
0.411	26.120	1.271	19.000	1.271	5.000	1.305	19.000	0.423	15.220	0.410	4.860
0.419	26.650	1.304	21.000	1.307	6.000	1.338	20.000	0.432	15.770	0.418	4.980
0.428	27.300	1.336	23.000	1.339	7.000	1.370	20.000	0.440	16.200	0.427	5.400
0.436	27.710	1.371	26.000	1.371	7.000	1.404	21.000	0.448	16.900	0.435	5.810
0.445	28.500	1.403	30.000	1.407	8.000	1.438	21.000	0.457	17.370	0.443	6.260
0.453	29.020	1.438	33.000	1.438	9.000	1.471	22.000	0.465	18.030	0.452	6.900
0.461	29.140	1.471	37.000	1.472	9.000	1.503	22.000	0.473	18.730	0.460	7.270
0.469	29.830	1.504	41.000	1.504	10.000	1.538	23.000	0.482	19.400	0.468	7.900
0.478	30.150	1.538	45.000	1.538	11.000	1.571	23.000	0.490	19.770	0.477	8.460
0.486	30.630	1.570	48.000	1.572	12.000	1.605	23.000	0.498	20.550	0.485	8.900
0.494	31.250	1.605	52.000	1.605	13.000	1.639	24.000	0.507	21.200	0.493	9.290
0.503	31.730	1.639	56.000	1.639	14.000	1.671	25.000	0.515	21.920	0.502	9.970
0.511	32.290	1.671	60.000	1.671	15.000	1.705	25.000	0.523	22.520	0.510	10.330
0.519	33.110	1.704	65.000	1.706	16.000	1.738	26.000	0.532	23.190	0.518	10.990
0.528	33.250	1.738	70.000	1.738	17.000	1.772	27.000	0.540	23.960	0.527	11.430
0.536	33.850	1.770	75.000	1.773	18.000	1.804	29.000	0.548	24.760	0.535	12.140
0.544	34.360	1.803	80.000	1.807	19.000	1.837	30.000	0.557	25.410	0.543	12.690
0.552	35.090	1.838	86.000	1.839	21.000	1.871	31.000	0.565	26.270	0.552	13.430
0.561	35.590	1.870	90.000	1.872	22.000	1.903	32.000	0.573	27.130	0.560	14.120
0.569	36.010	1.903	97.000	1.905	23.000	1.937	32.000	0.582	27.830	0.568	14.680
0.578	36.670	1.936	102.000	1.939	24.000	1.970	34.000	0.590	28.530	0.577	15.500
0.586	37.150	1.970	109.000	1.971	25.000	2.004	34.000	0.598	29.380	0.585	16.340
0.594	37.920	2.004	116.000	2.005	26.000	2.038	36.000	0.607	30.200	0.593	17.090
0.603	38.310	2.036	123.000	2.038	27.000	2.070	36.000	0.615	31.010	0.602	18.120
0.611	38.900	2.070	130.000	2.072	29.000	2.103	38.000	0.623	31.750	0.610	18.980
0.619	39.490	2.104	137.000	2.104	31.000	2.137	39.000	0.632	32.610	0.618	19.730
0.628	39.760	2.137	145.000	2.138	32.000	2.172	41.000	0.640	33.350	0.626	20.740
0.636	40.660	2.169	152.000	2.172	33.000	2.203	42.000	0.648	34.220	0.635	21.660
0.644	41.120	2.203	160.000	2.205	34.000	2.237	43.000	0.656	34.890	0.643	22.580
0.652	41.760	2.237	167.000	2.238	36.000	2.270	45.000	0.665	35.840	0.651	23.760
0.661	42.410	2.270	176.000	2.272	38.000	2.302	47.000	0.673	36.780	0.660	24.770
0.669	43.060	2.302	183.000	2.305	40.000	2.336	49.000	0.682	37.590	0.668	25.700
0.678	43.690	2.336	191.000	2.339	41.000	2.369	51.000	0.690	38.660	0.676	26.590
0.686	44.130	2.369	199.000	2.371	43.000	2.404	53.000	0.698	39.590	0.685	28.070
0.694	44.850	2.403	207.000	2.405	45.000	2.435	55.000	0.707	40.340	0.693	29.140
0.703	45.550	2.435	216.000	2.438	48.000	2.469	58.000	0.715	41.440	0.702	30.200
0.711	45.880	2.471	225.000	2.471	50.000	2.503	60.000	0.723	42.220	0.710	31.550
0.719	46.520	2.503	235.000	2.504	52.000	2.536	64.000	0.732	43.330	0.718	32.740
0.728	47.130	2.537	244.000	2.537	55.000	2.570	67.000	0.740	44.110	0.727	33.800
0.736	47.850	2.570	254.000	2.571	58.000	2.602	69.000	0.749	45.140	0.735	35.300
0.744	48.460	2.604	263.000	2.604	60.000	2.639	73.000	0.757	46.010	0.743	36.440
0.753	49.050	2.637	273.000	2.639	64.000	2.670	77.000	0.765	46.940	0.752	37.630
0.761	49.550	2.669	283.000	2.671	67.000	2.703	80.000	0.773	48.140	0.760	38.920
0.769	50.270	2.704	292.000	2.704	71.000	2.737	84.000	0.782	48.990	0.768	40.180
0.778	50.880	2.735	302.000	2.739	74.000	2.769	89.000	0.790	49.950	0.777	41.520
0.786	51.690	2.769	312.000	2.770	78.000	2.803	93.000	0.798	50.950	0.785	42.940
0.794	52.240	2.803	322.000	2.806	82.000	2.836	97.000	0.807	52.000	0.793	44.240
0.803	53.010	2.836	331.000	2.837	84.000	2.870	101.000	0.815	53.040	0.802	45.630
0.811	53.590	2.870	343.000	2.872	89.000	2.902	106.000	0.823	54.000	0.810	46.730
0.819	54.050	2.901	352.000	2.905	93.000	2.935	110.000	0.832	55.110	0.818	48.310
0.828	54.800	2.936	361.000	2.936	97.000	2.969	115.000	0.840	56.110	0.826	49.700
0.836	55.680	2.970	372.000	2.971	101.000	3.003	119.000	0.848	57.260	0.835	51.000
0.844	56.630	3.004	382.000	3.003	106.000	3.038	124.000	0.857	58.420	0.843	52.380
0.853	57.030	3.036	391.000	3.038	111.000	3.069	130.000	0.865	59.520	0.852	53.900
0.861	57.640	3.070	401.000	3.069	116.000	3.104	135.000	0.873	60.490	0.860	55.280
0.869	58.360	3.103	412.000	3.104	121.000	3.137	141.000	0.882	61.700	0.868	56.840
0.878	59.040	3.136	421.000	3.137	126.000	3.171	148.000	0.890	62.710	0.877	58.350
0.886	59.660	3.169	431.000	3.171	132.000	3.202	155.000	0.898	63.850	0.885	59.830

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

0.894	60.620	3.203	442.000	3.205	138.000	3.236	162.000	0.907	65.170	0.893	61.290
0.903	60.900	3.236	451.000	3.237	142.000	3.270	169.000	0.915	66.340	0.902	62.850
0.911	61.640	3.269	461.000	3.271	147.000	3.302	176.000	0.923	67.530	0.910	64.430
0.919	62.420	3.302	470.000	3.304	150.000	3.336	184.000	0.932	68.720	0.918	65.890
0.928	63.200	3.335	480.000	3.338	153.000	3.369	193.000	0.940	69.760	0.926	67.410
0.936	64.040	3.368	489.000	3.370	154.000	3.402	200.000	0.948	71.230	0.935	69.100
0.944	64.380	3.402	498.000	3.403	156.000	3.435	208.000	0.957	72.270	0.943	70.650
0.953	65.360	3.435	508.000	3.437	160.000	3.468	218.000	0.965	73.690	0.952	72.230
0.961	66.060	3.469	517.000	3.469	165.000	3.502	226.000	0.974	74.790	0.960	73.650
0.969	66.810	3.502	526.000	3.503	171.000	3.536	235.000	0.982	76.150	0.968	75.510
0.978	67.510	3.536	536.000	3.536	178.000	3.570	244.000	0.990	77.280	0.976	76.750
0.986	68.390	3.570	545.000	3.571	184.000	3.604	253.000	0.999	78.630	0.985	78.430
0.995	68.930	3.602	553.000	3.604	191.000	3.636	263.000	1.007	79.820	0.993	80.000
1.003	69.900	3.635	554.000	3.637	199.000	3.669	272.000	1.015	81.150	1.002	81.690
1.011	70.380	3.670	553.000	3.670	207.000	3.703	192.000	1.024	82.320	1.010	83.210
1.020	71.140	3.703	560.000	3.704	215.000	3.737	213.000	1.032	83.720	1.018	84.830
1.028	71.940	3.735	567.000	3.738	223.000	3.769	232.000	1.040	85.080	1.026	86.510
1.036	72.650	3.769	572.000	3.770	231.000	3.802	248.000	1.048	86.350	1.035	88.010
1.044	73.390	3.802	577.000	3.804	239.000	3.834	264.000	1.056	87.560	1.043	89.570
1.053	74.210	3.834	586.000	3.837	247.000	3.868	278.000	1.065	89.080	1.052	91.240
1.061	74.730	3.867	589.000	3.870	255.000	3.901	291.000	1.073	90.450	1.060	92.820
1.069	75.910	3.902	590.000	3.903	264.000	3.934	305.000	1.081	91.650	1.068	94.420
1.078	76.670	3.935	591.000	3.936	273.000	3.969	317.000	1.090	93.230	1.076	96.000
1.086	77.620	3.970	586.000	3.970	283.000	4.001	329.000	1.098	94.370	1.085	97.730
1.094	78.380	4.003	587.000	4.004	294.000	4.035	338.000	1.106	95.760	1.093	99.450
1.103	79.060	4.036	590.000	4.035	303.000	4.069	348.000	1.115	97.280	1.102	101.110
1.111	79.890	4.069	591.000	4.070	313.000	4.102	358.000	1.123	98.540	1.110	102.650
1.119	80.940	4.102	590.000	4.103	324.000	4.137	368.000	1.132	100.190	1.118	104.350
1.128	81.580	4.134	591.000	4.137	333.000	4.167	379.000	1.140	101.650	1.127	106.170
1.136	82.330	4.168	594.000	4.171	343.000	4.202	389.000	1.148	103.040	1.135	107.730
1.144	83.250	4.202	490.000	4.203	354.000	4.235	399.000	1.157	104.510	1.143	109.470
1.153	83.810	4.233	428.000	4.237	364.000	4.267	387.000	1.165	106.000	1.152	111.140
1.161	84.880	4.269	410.000	4.269	374.000	4.301	276.000	1.173	107.420	1.160	112.730
1.169	85.790	4.301	401.000	4.304	385.000	4.334	279.000	1.182	108.810	1.168	114.310
1.178	86.490	4.334	403.000	4.336	395.000	4.368	287.000	1.190	110.470	1.176	115.930
1.186	73.300	4.368	405.000	4.370	405.000	4.400	290.000	1.198	111.880	1.185	117.650
1.194	69.080	4.400	407.000	4.403	414.000	4.434	296.000	1.207	113.370	1.193	119.370
1.203	70.690	4.435	407.000	4.435	424.000	4.467	301.000	1.215	115.000	1.202	121.300
1.211	71.920	4.468	401.000	4.469	435.000	4.501	309.000	1.223	116.500	1.210	122.990
1.219	72.970	4.503	400.000	4.502	445.000	4.536	320.000	1.232	117.900	1.218	124.810
1.228	74.250	4.535	401.000	4.537	455.000	4.568	331.000	1.240	119.410	1.226	126.490
1.236	75.320	4.568	402.000	4.570	465.000	4.602	340.000	1.248	121.050	1.235	127.930
1.244	77.030	4.602	405.000	4.604	475.000	4.634	349.000	1.257	122.640	1.243	129.930
1.253	78.020	4.634	404.000	4.636	485.000	4.669	357.000	1.265	124.260	1.252	131.520
1.261	79.050	4.669	400.000	4.671	493.000	4.701	366.000	1.273	125.590	1.260	133.260
1.270	80.130	4.700	398.000	4.703	501.000	4.734	375.000	1.282	127.130	1.269	135.050
1.278	81.470	4.734	396.000	4.735	509.000	4.768	384.000	1.290	128.810	1.277	136.670
1.286	82.250	4.768	385.000	4.770	515.000	4.801	394.000	1.298	130.490	1.285	138.310
1.295	83.270	4.801	381.000	4.803	518.000	4.834	401.000	1.306	132.080	1.293	140.390
1.303	84.510	4.833	336.000	4.836	520.000	4.867	411.000	1.315	133.590	1.302	142.070
1.311	85.540	4.867	312.000	4.868	518.000	4.901	420.000	1.323	135.320	1.310	143.620
1.319	86.630	4.902	290.000	4.902	521.000	4.935	431.000	1.332	136.820	1.318	145.170
1.328	87.640	4.935	257.000	4.935	529.000	4.967	442.000	1.340	138.280	1.326	147.180
1.336	88.700	4.969	247.000	4.969	534.000	5.001	451.000	1.348	139.890	1.335	148.740
1.344	89.750	5.003	240.000	5.001	542.000	5.035	456.000	1.356	141.290	1.343	150.830
1.353	90.990	5.035	231.000	5.035	551.000	5.068	464.000	1.365	137.920	1.352	152.650
1.361	91.780	5.068	229.000	5.069	560.000	5.102	473.000	1.373	139.730	1.360	154.630
1.369	92.990	5.100	226.000	5.102	568.000	5.134	482.000	1.381	141.430	1.368	156.320

1.377	93.720	5.134	223.000	5.137	577.000	5.168	491.000	1.390	142.950	1.376	157.990
1.386	94.920	5.167	222.000	5.171	586.000	5.201	499.000	1.398	144.910	1.385	159.740
1.394	95.890	5.201	221.000	5.201	591.000	5.235	449.000	1.407	146.690	1.393	161.670
1.403	96.840	5.235	206.000	5.236	597.000	5.267	330.000	1.415	148.340	1.402	163.310
1.411	97.830	5.266	178.000	5.269	603.000			1.423	150.060	1.410	164.890
1.419	98.950	5.300	171.000	5.302	610.000			1.432	151.640	1.418	166.700
1.428	100.070	5.334	169.000	5.335	618.000			1.440	153.280	1.426	168.530
1.436	101.150	5.368	165.000	5.369	624.000			1.448	155.050	1.435	170.340
1.444	101.730	5.400	161.000	5.402	630.000			1.457	156.710	1.443	172.250
1.453	102.960	5.434	142.000	5.434	623.000			1.465	158.470	1.452	174.130
1.461	103.950	5.467	133.000	5.468	613.000			1.473	160.100	1.460	175.770
1.469	105.140	5.499	123.000	5.502	615.000			1.482	161.690	1.468	177.340
1.478	105.940	5.533	122.000	5.535	621.000			1.490	163.510	1.476	179.170
1.486	106.990	5.566	119.000	5.570	627.000			1.498	165.180	1.485	181.030
1.494	108.090	5.601	114.000	5.602	632.000			1.507	166.780	1.493	183.140
1.503	109.150	5.632	102.000	5.636	638.000			1.515	168.510	1.502	184.600
1.511	110.140	5.665	94.000	5.669	645.000			1.523	170.080	1.510	186.450
1.519	111.250	5.700	90.000	5.701	649.000			1.532	171.730	1.518	188.510
1.528	112.240			5.735	650.000			1.540	173.250	1.526	190.120
1.536	113.030			5.769	653.000			1.548	174.850	1.535	191.640
1.544	114.180			5.803	610.000			1.557	176.670	1.543	193.520
1.553	115.300			5.833	4.000			1.565	178.140	1.552	195.240
1.561	116.410							1.573	179.860	1.560	196.900
1.569	117.500							1.581	181.480	1.568	198.540
1.578	118.480							1.590	183.150	1.576	200.250
1.586	119.560							1.598	184.560	1.585	201.870
1.594	120.730							1.606	186.400	1.593	203.540
1.603	121.730							1.615	187.730	1.602	205.280
1.611	122.640							1.623	188.980	1.610	206.970
1.619	123.880							1.632	189.460	1.618	208.700
1.628	124.820							1.640	148.490	1.626	210.690
1.636	125.940							1.648	151.290	1.635	212.200
1.644	126.930							1.657	153.750	1.643	214.320
1.653	128.040							1.665	156.370	1.652	216.000
1.661	129.400							1.673	158.530	1.660	217.480
1.670	130.190							1.682	160.740	1.669	219.390
1.678	131.270							1.690	163.090	1.677	221.040
1.686	132.650							1.698	165.300	1.685	222.640
1.695	133.800							1.707	167.650	1.693	224.460
1.703	135.060							1.715	169.660	1.702	226.020
1.711	136.120							1.723	172.030	1.710	227.760
1.720	137.350							1.731	174.110	1.718	229.440
1.728	137.980							1.740	176.380	1.726	231.230
1.736	139.450							1.748	178.460	1.735	233.040
1.744	140.570							1.756	180.680	1.743	234.620
1.753	141.770							1.765	182.790	1.752	236.060
1.761	142.880							1.773	184.900	1.760	237.920
1.770	144.000							1.781	186.860	1.768	239.620
1.778	145.270							1.790	189.080	1.776	241.330
1.786	146.460							1.798	190.960	1.785	242.860
1.794	147.330							1.807	193.060	1.793	244.840
1.803	148.780							1.815	194.870	1.802	246.280
1.811	149.980							1.823	197.070	1.810	248.100
1.820	151.170							1.832	198.850	1.819	249.550
1.828	152.340							1.840	200.840	1.827	251.570
1.836	153.260							1.848	202.590	1.835	253.010
1.844	154.170							1.857	204.610	1.843	254.720
1.853	155.430							1.865	206.280	1.852	256.380
1.861	156.620							1.873	208.270	1.860	258.110

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

1.869	157.760			1.882	209.840	1.868	259.530
1.877	158.750			1.890	211.820	1.876	261.230
1.886	159.900			1.898	213.490	1.885	262.850
1.894	160.980			1.907	215.470	1.893	264.610
1.903	162.360			1.915	217.190	1.902	266.190
1.911	163.560			1.923	219.010	1.910	268.030
1.919	164.740			1.932	220.720	1.918	269.450
1.928	165.870			1.940	222.690	1.927	271.250
1.936	167.020			1.948	224.270	1.935	272.910
1.944	168.270			1.957	226.330	1.943	274.530
1.953	169.500			1.965	227.830	1.952	275.970
1.961	170.720			1.973	229.910	1.960	277.950
1.969	171.920			1.982	231.770	1.968	279.290
1.977	173.080			1.990	233.530	1.977	280.920
1.986	174.380			1.998	235.130	1.985	282.510
1.994	175.300			2.006	236.950	1.993	283.910
2.003	176.770			2.015	238.960	2.002	285.570
2.011	177.910			2.023	240.720	2.010	286.900
2.020	179.450			2.031	242.390	2.018	288.390
2.028	180.040			2.040	244.270	2.026	290.040
2.036	181.510			2.048	246.000	2.035	291.640
2.044	182.570			2.057	247.760	2.043	293.380
2.053	183.950			2.065	249.570	2.052	294.850
2.061	185.090			2.073	251.530	2.060	296.440
2.069	185.390			2.082	253.240	2.068	297.920
2.078	186.170			2.090	255.080	2.077	299.390
2.086	186.600			2.098	256.930	2.085	301.060
2.094	187.220			2.107	258.790	2.093	302.580
2.103	188.160			2.115	260.550	2.102	303.980
2.111	188.610			2.123	262.370	2.110	305.570
2.119	170.380			2.132	264.040	2.118	306.860
2.127	165.740			2.140	265.920	2.127	308.590
2.136	166.940			2.148	267.730	2.135	309.770
2.144	168.540			2.157	269.630	2.143	311.550
2.153	170.540			2.165	271.270	2.152	312.780
2.161	171.660			2.173	273.280	2.160	314.550
2.169	173.370			2.182	274.850	2.168	315.810
2.177	175.120			2.190	276.790	2.176	317.440
2.186	176.450			2.198	278.490	2.185	318.800
2.194	177.730			2.207	280.260	2.193	320.400
2.203	174.260			2.215	281.890	2.202	321.780
2.211	172.810			2.223	283.890	2.210	323.240
2.219	169.610			2.232	285.510	2.218	324.480
2.227	168.490			2.240	287.440	2.226	326.270
2.236	167.140			2.248	289.100	2.235	327.690
2.244	168.060			2.257	291.080	2.243	329.160
2.253	169.210			2.265	292.700	2.252	330.410
2.261	170.820			2.273	294.460	2.260	332.030
2.270	172.300			2.281	296.270	2.268	333.540
2.278	173.640			2.290	298.170	2.277	334.810
2.286	175.040			2.298	300.030	2.285	336.300
2.294	175.920			2.307	302.040	2.293	338.020
2.303	176.810			2.315	303.840	2.302	339.420
2.311	178.110			2.323	305.800	2.310	340.760
2.320	179.530			2.331	307.490	2.318	342.050
2.328	181.050			2.340	309.310	2.327	343.590
2.336	182.300			2.348	311.310	2.335	345.060
2.344	183.860			2.357	313.140	2.343	346.730

2.353	185.170
2.361	186.720
2.370	188.040
2.378	189.310
2.386	190.160
2.394	191.420
2.403	192.790
2.411	194.000
2.419	195.010
2.427	196.520
2.436	197.860
2.444	199.090
2.453	199.980
2.461	201.350
2.469	202.650
2.477	204.070
2.486	205.210
2.494	206.690
2.503	208.190
2.511	209.150
2.519	210.110
2.527	211.020
2.536	212.210
2.544	214.070
2.553	214.920
2.561	216.210
2.569	217.670
2.578	217.930
2.586	218.220
2.594	219.200
2.603	220.310
2.611	221.620
2.619	222.150
2.628	223.280
2.636	224.330
2.644	225.210
2.653	225.720
2.661	227.450
2.669	228.560
2.678	229.700
2.686	230.820
2.694	232.120
2.703	233.660
2.711	235.330
2.719	236.530
2.728	237.980
2.736	239.130
2.744	240.260
2.753	241.950
2.761	242.960
2.769	243.950
2.778	245.560
2.786	246.700
2.794	248.120
2.803	249.310
2.811	250.910
2.820	252.030
2.828	253.470
2.836	254.310

2.365	314.770
2.373	316.780
2.381	318.660
2.390	320.510
2.398	322.380
2.407	324.370
2.415	326.200
2.423	328.270
2.432	330.000
2.440	332.100
2.448	333.720
2.457	335.690
2.465	337.510
2.473	339.500
2.482	341.190
2.490	343.180
2.498	345.050
2.507	347.120
2.515	348.820
2.523	350.760
2.531	352.490
2.540	354.300
2.548	356.050
2.556	357.920
2.565	359.770
2.573	361.470
2.581	363.380
2.590	365.370
2.598	367.050
2.606	368.840
2.614	370.600
2.623	372.500
2.631	374.160
2.640	375.980
2.648	377.650
2.657	379.520
2.665	381.100
2.673	382.970
2.682	384.790
2.690	386.560
2.698	388.060
2.707	390.100
2.715	391.500
2.723	393.310
2.731	395.010
2.740	396.690
2.748	398.270
2.757	399.980
2.765	401.750
2.773	403.720
2.781	405.060
2.790	406.780
2.798	408.470
2.807	410.170
2.815	411.670
2.823	413.490
2.831	415.150
2.840	416.770
2.848	418.190

2.352	347.970
2.360	349.500
2.369	350.880
2.377	352.360
2.385	353.690
2.393	355.480
2.402	356.410
2.410	357.880
2.418	359.300
2.426	360.720
2.435	362.030
2.443	363.280
2.452	364.300
2.460	365.630
2.468	366.990
2.477	368.450
2.485	369.050
2.493	370.610
2.502	371.490
2.510	372.950
2.518	374.170
2.527	375.540
2.535	376.770
2.543	378.110
2.551	379.340
2.560	380.810
2.568	381.820
2.576	383.290
2.585	384.720
2.593	386.100
2.602	387.320
2.610	388.690
2.618	390.220
2.627	391.360
2.635	391.860
2.643	393.150
2.652	394.060
2.660	395.070
2.668	394.840
2.676	391.960
2.685	377.380
2.693	376.380
2.701	341.090
2.710	299.560
2.718	287.260
2.727	264.420
2.735	238.810
2.744	92.880
2.745	72.570

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

2.845	255.590			2.857	420.020
2.853	256.720			2.865	421.450
2.861	258.580			2.873	423.040
2.870	258.810			2.881	424.450
2.878	258.590			2.890	426.210
2.886	259.370			2.898	427.710
2.894	260.990			2.907	429.370
2.903	261.230			2.915	430.990
2.911	262.420			2.923	432.470
2.919	263.100			2.931	434.010
2.927	264.170			2.940	435.710
2.936	265.560			2.948	437.040
2.944	266.880			2.956	438.640
2.953	268.090			2.965	440.050
2.961	269.430			2.973	441.670
2.969	270.810			2.981	443.040
2.977	271.860			2.990	444.590
2.986	273.340			2.998	446.090
2.994	274.730			3.007	447.550
3.003	276.190			3.015	448.980
3.011	277.450			3.023	450.530
3.019	278.630			3.031	452.040
3.027	280.040			3.040	453.500
3.036	280.990			3.048	454.680
3.044	282.650			3.056	456.300
3.053	283.870			3.065	457.570
3.061	285.190			3.073	458.950
3.069	284.140			3.081	460.350
3.078	284.140			3.090	461.720
3.086	285.020			3.098	463.010
3.094	286.430			3.107	464.430
3.103	286.500			3.115	465.560
3.111	287.250			3.123	467.010
3.119	286.900			3.132	468.210
3.128	286.780			3.140	469.720
3.136	287.370			3.148	469.620
3.144	288.680			3.157	471.350
3.153	289.780			3.165	472.490
3.161	291.150			3.173	473.710
3.169	291.430			3.181	474.980
3.178	292.670			3.190	476.260
3.186	293.670			3.198	477.370
3.194	295.110			3.206	478.640
3.203	296.000			3.215	479.580
3.211	296.840			3.223	480.830
3.219	297.120			3.231	481.700
3.228	297.900			3.240	482.760
3.236	297.690			3.248	483.050
3.244	297.600			3.257	482.530
3.253	297.860			3.265	480.320
3.261	299.440			3.273	470.590
3.269	300.550			3.278	-2.460
3.277	301.760				
3.286	302.970				
3.294	304.480				
3.303	305.350				
3.311	306.580				
3.319	307.630				

3.327	308.080
3.336	307.980
3.344	305.750
3.353	302.870
3.361	302.640
3.369	303.110
3.378	303.910
3.386	304.360
3.395	305.280
3.403	305.900
3.411	307.120
3.420	308.280
3.428	309.120
3.436	309.780
3.444	310.960
3.453	311.050
3.461	311.510
3.469	312.110
3.478	312.960
3.486	313.050
3.494	313.670
3.503	313.900
3.511	313.140
3.519	312.740
3.528	312.870
3.536	313.610
3.544	314.400
3.553	314.930
3.561	315.620
3.569	316.620
3.578	317.250
3.586	317.580
3.594	318.170
3.603	318.610
3.611	319.060
3.619	318.600
3.628	317.970
3.636	317.080
3.644	316.670
3.653	317.040
3.661	317.330
3.670	318.140
3.678	319.040
3.686	319.910
3.694	320.770
3.703	322.180
3.711	322.990
3.719	323.110
3.728	323.090
3.736	323.300
3.744	324.600
3.753	324.960
3.761	325.980
3.769	326.600
3.777	327.410
3.786	327.590
3.794	328.410
3.802	329.160
3.811	330.500

3.819	331.050
3.827	331.840
3.836	332.820
3.844	333.810
3.853	334.730
3.861	335.730
3.869	336.590
3.878	337.470
3.886	337.440
3.894	338.340
3.903	338.840
3.911	339.450
3.919	340.070
3.928	340.770
3.936	341.010
3.944	341.380
3.953	341.500
3.961	341.520
3.969	341.850
3.977	336.790
3.986	334.190
3.994	333.030
4.003	332.830
4.011	331.670
4.019	330.380
4.028	328.310
4.036	327.710
4.044	327.290
4.053	325.430
4.061	319.880
4.069	317.570
4.078	315.890
4.086	315.810
4.094	316.040
4.103	316.540
4.111	316.690
4.119	316.440
4.128	316.330
4.136	314.010
4.144	311.700
4.153	301.850
4.161	295.010
4.169	208.450
4.178	181.110
4.186	183.190
4.195	182.530

Sample B5o	Sample B7o	Sample B9o	Sample B1o	Sample B10o	Sample B11o
------------	------------	------------	------------	-------------	-------------

[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]
0.011	0.450	0.570	0.000	0.000	2.000	0.012	0.670	0.001	-0.230	0.028	2.040
0.027	0.400	0.570	0.000	0.000	2.000	0.028	0.670	0.011	-0.160	0.061	2.280
0.044	0.430	0.570	0.000	0.000	2.000	0.044	0.840	0.019	-0.190	0.094	2.610
0.061	0.560	0.570	0.000	0.000	2.000	0.061	0.880	0.027	-0.410	0.128	2.710
0.078	0.790	0.571	0.000	0.003	2.000	0.077	1.010	0.035	-0.200	0.161	2.870
0.094	0.780	0.583	0.000	0.013	2.000	0.094	1.170	0.043	-0.210	0.194	3.200
0.111	0.900	0.594	0.000	0.023	2.000	0.111	1.200	0.052	-0.240	0.228	3.410
0.128	0.890	0.600	0.000	0.030	2.000	0.128	1.370	0.060	-0.190	0.261	3.520
0.144	1.180	0.615	0.000	0.044	2.000	0.144	1.360	0.069	-0.190	0.294	3.850
0.161	1.140	0.623	0.000	0.055	2.000	0.161	1.490	0.077	-0.140	0.328	3.880
0.177	1.100	0.640	0.000	0.070	2.000	0.178	1.430	0.086	-0.200	0.361	4.170
0.194	1.110	0.659	0.000	0.087	2.000	0.194	1.450	0.094	-0.120	0.395	4.330
0.211	1.270	0.675	0.000	0.103	2.000	0.211	1.630	0.102	-0.280	0.428	4.510
0.228	1.290	0.694	0.000	0.123	2.000	0.228	1.730	0.111	-0.080	0.461	4.700
0.244	1.360	0.716	0.000	0.144	2.000	0.244	1.870	0.119	-0.020	0.494	4.870
0.261	1.390	0.738	0.000	0.168	2.000	0.261	1.760	0.127	-0.130	0.528	5.030
0.278	1.510	0.762	0.000	0.193	2.000	0.278	1.900	0.136	-0.030	0.561	5.350
0.294	1.670	0.788	0.000	0.218	2.000	0.294	2.100	0.144	-0.040	0.594	5.490
0.311	1.730	0.816	0.000	0.246	2.000	0.311	2.000	0.152	-0.130	0.628	5.680
0.328	1.790	0.846	0.000	0.275	2.000	0.328	2.120	0.161	-0.070	0.661	5.970
0.344	1.950	0.876	0.000	0.306	2.000	0.344	2.220	0.169	-0.070	0.695	6.320
0.361	1.880	0.909	0.000	0.339	2.000	0.361	2.410	0.177	-0.110	0.728	6.600
0.378	1.910	0.941	0.000	0.371	2.000	0.378	2.460	0.186	-0.060	0.761	6.780
0.394	2.090	0.974	0.000	0.405	2.000	0.394	2.580	0.194	-0.140	0.794	6.910
0.411	2.210	1.009	0.000	0.438	2.000	0.411	2.620	0.202	0.020	0.828	7.280
0.427	2.060	1.042	0.000	0.471	2.000	0.428	2.770	0.211	-0.090	0.861	7.480
0.444	2.270	1.076	0.000	0.503	2.000	0.444	2.870	0.219	0.170	0.894	7.810
0.461	2.310	1.108	0.000	0.538	2.000	0.461	3.030	0.228	0.050	0.928	8.080
0.477	2.450	1.143	0.000	0.571	2.000	0.478	3.150	0.236	0.060	0.961	8.390
0.494	2.540	1.176	0.000	0.605	2.000	0.494	3.340	0.244	-0.020	0.994	8.530
0.511	2.670	1.209	0.000	0.637	2.000	0.511	3.350	0.253	0.190	1.028	8.980
0.528	2.730	1.243	0.000	0.673	2.000	0.527	3.360	0.261	0.150	1.061	9.230
0.544	2.780	1.275	0.000	0.704	2.000	0.544	3.460	0.269	0.130	1.095	9.650
0.561	2.900	1.309	0.000	0.737	2.000	0.561	3.640	0.278	0.230	1.128	10.010
0.577	2.920	1.342	0.000	0.772	2.000	0.578	3.770	0.286	0.240	1.161	10.350
0.594	2.850	1.376	0.000	0.803	2.000	0.594	4.020	0.294	0.160	1.195	10.640
0.611	3.100	1.409	0.000	0.838	2.000	0.611	4.090	0.302	0.260	1.228	10.800
0.628	3.130	1.441	0.000	0.870	2.000	0.628	4.100	0.311	0.240	1.261	10.690
0.644	3.160	1.475	0.000	0.903	2.000	0.644	4.300	0.319	0.210	1.295	11.070
0.661	3.240	1.509	0.000	0.936	2.000	0.661	4.420	0.327	0.150	1.328	11.280
0.677	3.310	1.542	0.000	0.970	2.000	0.678	4.470	0.336	0.220	1.361	11.820
0.694	3.490	1.575	0.000	1.003	2.000	0.694	4.730	0.344	0.250	1.394	12.290
0.711	3.360	1.609	0.000	1.036	2.000	0.711	4.780	0.352	0.200	1.428	12.700
0.727	3.580	1.643	0.000	1.072	2.000	0.728	4.800	0.361	0.300	1.461	13.210
0.744	3.520	1.675	0.000	1.103	2.000	0.744	4.930	0.369	0.370	1.495	13.750
0.761	3.850	1.708	0.000	1.138	2.000	0.761	5.060	0.377	0.480	1.528	14.170
0.777	3.810	1.742	0.000	1.171	2.000	0.777	5.130	0.386	0.410	1.561	14.570
0.794	3.880	1.776	0.000	1.203	2.000	0.794	5.340	0.394	0.420	1.595	15.210
0.811	3.830	1.808	0.000	1.237	2.000	0.811	5.340	0.402	0.390	1.628	15.700
0.827	4.030	1.840	0.000	1.270	2.000	0.828	5.760	0.411	0.370	1.661	16.120
0.844	3.990	1.875	0.000	1.305	2.000	0.844	5.730	0.419	0.300	1.695	16.780
0.861	3.960	1.908	0.000	1.336	3.000	0.861	5.830	0.427	0.500	1.728	17.360
0.878	4.220	1.941	0.000	1.370	3.000	0.878	6.020	0.435	0.450	1.761	17.930
0.894	4.290	1.974	0.000	1.403	3.000	0.894	6.140	0.444	0.400	1.794	18.550
0.911	4.230	2.008	0.000	1.435	3.000	0.911	6.180	0.452	0.510	1.828	19.210
0.928	4.460	2.042	0.000	1.469	3.000	0.928	6.470	0.461	0.530	1.861	19.820
0.944	4.500	2.073	0.000	1.502	3.000	0.944	6.590	0.469	0.570	1.895	20.180

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

0.961	4.600	2.110	0.000	1.537	3.000	0.961	6.730	0.478	0.620	1.928	20.640
0.978	4.660	2.141	0.000	1.570	3.000	0.978	6.770	0.486	0.700	1.961	21.190
0.994	4.900	2.176	0.000	1.604	3.000	0.994	6.830	0.494	0.740	1.995	22.000
1.011	4.840	2.207	0.000	1.637	4.000	1.011	6.930	0.502	0.770	2.028	22.530
1.027	4.770	2.241	0.000	1.670	4.000	1.028	7.100	0.511	0.730	2.061	23.370
1.044	5.030	2.274	0.000	1.704	4.000	1.044	7.170	0.519	0.880	2.095	24.090
1.060	4.990	2.307	0.000	1.737	4.000	1.061	7.390	0.528	0.770	2.128	24.900
1.077	5.000	2.342	0.000	1.770	4.000	1.078	7.470	0.536	0.800	2.161	25.370
1.094	5.210	2.373	0.000	1.803	4.000	1.094	7.660	0.544	0.780	2.195	26.030
1.111	5.180	2.407	0.000	1.836	4.000	1.111	7.820	0.552	0.880	2.228	26.780
1.127	5.490	2.440	0.000	1.870	4.000	1.128	7.760	0.561	0.910	2.261	27.730
1.144	5.430	2.473	0.000	1.902	4.000	1.144	8.130	0.569	0.900	2.295	28.500
1.161	5.430	2.507	0.000	1.936	4.000	1.161	8.020	0.577	0.920	2.328	29.330
1.177	5.590	2.540	0.000	1.969	4.000	1.178	8.080	0.585	1.090	2.362	29.980
1.194	5.730	2.575	0.000	2.004	4.000	1.194	8.320	0.594	1.180	2.395	30.670
1.211	5.770	2.608	0.000	2.036	4.000	1.211	8.360	0.602	1.090	2.428	31.450
1.227	5.860	2.642	0.000	2.069	4.000	1.228	8.620	0.611	1.230	2.461	32.140
1.244	5.890	2.673	0.000	2.104	4.000	1.245	8.510	0.619	1.190	2.495	33.000
1.261	5.980	2.707	0.000	2.137	4.000	1.261	8.700	0.627	1.170	2.528	33.930
1.277	6.110	2.741	0.000	2.171	4.000	1.278	8.960	0.635	1.270	2.561	34.830
1.294	6.170	2.772	0.000	2.203	4.000	1.294	8.920	0.644	1.390	2.595	33.590
1.311	6.360	2.806	0.000	2.237	5.000	1.311	9.060	0.652	1.450	2.628	33.650
1.327	6.370	2.840	0.000	2.270	5.000	1.328	9.070	0.661	1.530	2.661	34.460
1.344	6.520	2.872	0.000	2.302	5.000	1.344	9.210	0.669	1.400	2.695	35.370
1.361	6.660	2.905	0.000	2.336	5.000	1.361	9.430	0.677	1.500	2.728	36.170
1.377	6.540	2.939	0.000	2.369	5.000	1.378	9.290	0.685	1.530	2.761	37.080
1.394	6.840	2.973	0.000	2.403	5.000	1.394	9.630	0.694	1.610	2.795	37.960
1.411	7.020	3.005	0.000	2.435	5.000	1.411	9.720	0.702	1.660	2.828	38.850
1.427	7.040	3.041	1.000	2.469	5.000	1.428	9.820	0.711	1.760	2.861	39.570
1.444	6.930	3.073	1.000	2.503	6.000	1.444	9.790	0.719	1.740	2.895	39.650
1.460	7.180	3.106	1.000	2.536	6.000	1.461	10.060	0.728	1.930	2.928	40.190
1.477	7.180	3.140	1.000	2.572	6.000	1.478	10.110	0.736	1.880	2.962	40.900
1.494	7.280	3.172	1.000	2.604	6.000	1.494	10.220	0.744	1.910	2.995	40.490
1.510	7.500	3.206	1.000	2.637	7.000	1.511	10.310	0.752	1.960	3.028	40.330
1.527	7.520	3.239	1.000	2.669	7.000	1.528	10.530	0.761	2.100	3.061	40.590
1.544	7.640	3.273	1.000	2.703	7.000	1.544	10.710	0.769	2.010	3.095	41.370
1.561	7.740	3.305	1.000	2.737	7.000	1.561	10.640	0.778	2.130	3.128	41.990
1.577	7.740	3.339	1.000	2.769	7.000	1.578	10.830	0.786	2.250	3.161	42.320
1.594	7.970	3.373	1.000	2.803	7.000	1.594	10.920	0.794	2.340	3.195	41.700
1.610	7.900	3.404	1.000	2.836	7.000	1.611	10.980	0.802	2.490	3.228	41.680
1.627	8.040	3.440	1.000	2.870	7.000	1.628	11.140	0.811	2.390	3.261	41.950
1.644	8.240	3.472	1.000	2.902	7.000	1.644	11.320	0.819	2.480	3.295	42.360
1.661	8.240	3.506	1.000	2.936	7.000	1.661	11.250	0.827	2.590	3.328	42.790
1.677	8.370	3.540	1.000	2.970	8.000	1.678	11.370	0.835	2.520	3.361	42.300
1.694	8.560	3.574	1.000	3.003	8.000	1.695	11.500	0.844	2.760	3.395	42.070
1.711	8.640	3.606	1.000	3.036	8.000	1.711	11.650	0.852	2.670	3.428	42.010
1.727	8.880	3.639	1.000	3.070	9.000	1.728	11.720	0.861	2.820	3.461	41.950
1.744	8.780	3.673	1.000	3.104	9.000	1.745	11.930	0.869	3.030	3.495	42.450
1.761	8.760	3.706	1.000	3.137	9.000	1.761	11.990	0.877	3.040	3.528	42.980
1.777	8.990	3.739	1.000	3.171	9.000	1.778	12.070	0.885	3.020	3.561	43.590
1.794	9.100	3.772	1.000	3.203	9.000	1.794	12.190	0.894	3.010	3.595	44.140
1.811	9.240	3.806	1.000	3.236	9.000	1.811	12.440	0.902	3.160	3.628	44.830
1.827	9.250	3.840	1.000	3.270	9.000	1.828	12.680	0.911	3.210	3.661	45.240
1.844	9.490	3.871	1.000	3.302	9.000	1.844	12.630	0.919	3.380	3.695	45.900
1.860	9.550	3.906	1.000	3.336	9.000	1.861	12.940	0.927	3.290	3.728	45.930
1.877	9.630	3.939	1.000	3.369	9.000	1.878	12.960	0.936	3.550	3.761	46.490
1.894	9.680	3.972	1.000	3.402	9.000	1.894	13.030	0.944	3.490	3.795	47.100
1.910	9.910	4.007	1.000	3.437	10.000	1.911	13.300	0.952	3.720	3.828	44.920

1.927	9.930	4.041	1.000	3.469	10.000	1.928	13.340	0.961	3.630	3.861	45.450
1.944	10.080	4.073	1.000	3.503	10.000	1.945	13.610	0.969	3.750	3.895	45.900
1.961	10.160	4.106	1.000	3.537	10.000	1.961	13.690	0.977	3.980	3.928	46.380
1.977	10.220	4.140	1.000	3.571	10.000	1.978	13.730	0.985	4.040	3.961	45.820
1.994	10.580	4.172	1.000	3.604	10.000	1.995	13.940	0.994	4.060	3.994	46.010
2.011	10.550	4.206	1.000	3.636	10.000	2.011	14.090	1.002	4.070	4.028	46.190
2.027	10.590	4.239	1.000	3.670	10.000	2.028	14.260	1.011	4.170	4.061	46.670
2.044	10.690	4.271	1.000	3.701	11.000	2.045	14.440	1.019	4.250	4.094	46.980
2.061	10.750	4.305	2.000	3.737	11.000	2.061	14.570	1.028	4.500	4.128	47.470
2.077	11.010	4.338	2.000	3.769	11.000	2.078	14.560	1.036	4.590	4.161	47.900
2.094	11.190	4.372	2.000	3.803	12.000	2.095	14.720	1.044	4.600	4.194	48.510
2.111	11.190	4.406	2.000	3.836	12.000	2.111	14.920	1.052	4.650	4.228	49.290
2.127	11.270	4.438	2.000	3.868	12.000	2.128	15.120	1.061	4.780	4.261	49.610
2.144	11.410	4.472	2.000	3.902	12.000	2.145	15.190	1.069	4.900	4.294	50.040
2.161	11.480	4.506	2.000	3.936	12.000	2.161	15.440	1.078	4.920	4.328	50.220
2.177	11.700	4.540	2.000	3.970	12.000	2.178	15.600	1.086	5.000	4.361	50.380
2.194	11.740	4.573	2.000	4.003	13.000	2.195	15.750	1.094	5.120	4.395	50.550
2.211	11.710	4.605	2.000	4.036	13.000	2.211	15.780	1.102	5.250	4.428	50.950
2.227	11.910	4.639	2.000	4.070	13.000	2.228	15.960	1.111	5.210	4.461	51.410
2.244	11.970	4.672	2.000	4.102	13.000	2.244	16.340	1.119	5.250	4.494	51.010
2.261	12.130	4.706	2.000	4.137	13.000	2.261	16.460	1.127	5.320	4.528	50.160
2.277	12.250	4.737	2.000	4.169	14.000	2.278	16.580	1.135	5.490	4.561	49.910
2.294	12.370	4.772	2.000	4.203	14.000	2.295	16.860	1.144	5.540	4.594	50.220
2.311	12.560	4.805	2.000	4.235	14.000	2.312	16.870	1.152	5.610	4.627	50.600
2.327	12.660	4.837	2.000	4.269	14.000	2.328	17.100	1.161	5.740	4.661	51.100
2.344	12.620	4.871	2.000	4.302	14.000	2.345	17.290	1.169	5.730	4.695	51.610
2.361	12.910	4.904	2.000	4.334	14.000	2.362	17.470	1.177	5.880	4.728	51.920
2.377	13.050	4.939	2.000	4.369	14.000	2.378	17.690	1.185	5.890	4.761	51.230
2.394	12.970	4.972	2.000	4.402	14.000	2.395	17.810	1.194	6.120	4.795	51.370
2.410	13.270	5.007	2.000	4.435	15.000	2.411	17.870	1.202	6.190	4.828	51.200
2.427	13.200	5.038	2.000	4.468	15.000	2.428	18.240	1.211	6.190	4.861	51.510
2.444	13.540	5.072	2.000	4.502	15.000	2.445	18.320	1.219	6.390	4.894	51.400
2.461	13.590	5.105	2.000	4.536	15.000	2.461	18.530	1.227	6.440	4.928	51.390
2.477	13.790	5.137	2.000	4.568	15.000	2.478	18.620	1.235	6.430	4.961	51.810
2.494	13.760	5.171	2.000	4.602	16.000	2.495	18.830	1.244	6.610	4.994	52.210
2.511	13.870	5.204	2.000	4.635	16.000	2.511	19.000	1.252	6.760	5.028	52.330
2.527	14.090	5.238	2.000	4.669	16.000	2.528	19.160	1.261	6.820	5.061	52.460
2.544	14.070	5.270	2.000	4.701	16.000	2.545	19.340	1.269	6.830	5.095	53.060
2.561	14.390	5.304	2.000	4.735	16.000	2.561	19.400	1.278	7.040	5.128	53.780
2.577	14.390	5.337	3.000	4.768	17.000	2.578	19.800	1.286	7.110	5.161	54.330
2.594	14.530	5.371	3.000	4.801	17.000	2.595	20.120	1.294	7.470	5.195	54.690
2.611	14.580	5.404	3.000	4.834	18.000	2.611	20.160	1.302	7.380	5.228	54.400
2.627	14.830	5.437	3.000	4.867	18.000	2.628	20.320	1.311	7.610	5.261	54.690
2.644	14.940	5.472	3.000	4.902	18.000	2.644	20.660	1.319	7.700	5.294	55.060
2.661	15.040	5.506	3.000	4.936	18.000	2.661	20.700	1.327	7.810	5.328	55.640
2.677	15.260	5.539	3.000	4.969	18.000	2.678	20.910	1.335	8.000	5.361	56.190
2.694	15.480	5.571	4.000	5.003	19.000	2.695	21.080	1.344	8.030	5.395	56.910
2.711	15.450	5.604	4.000	5.035	19.000	2.711	21.210	1.352	8.110	5.428	57.800
2.727	15.610	5.638	4.000	5.069	19.000	2.728	21.430	1.361	8.270	5.461	58.760
2.744	15.820	5.670	4.000	5.102	19.000	2.744	21.660	1.369	8.350	5.495	59.560
2.761	15.820	5.704	4.000	5.136	19.000	2.761	21.780	1.377	8.460	5.528	60.390
2.778	15.990	5.738	4.000	5.168	20.000	2.778	22.020	1.385	8.700	5.561	61.190
2.794	16.080	5.770	4.000	5.201	20.000	2.795	22.240	1.394	8.710	5.595	61.770
2.811	16.110	5.803	4.000	5.236	20.000	2.812	22.410	1.402	8.890	5.628	62.580
2.827	16.360	5.836	4.000	5.269	20.000	2.828	22.710	1.411	9.150	5.661	63.020
2.844	16.510	5.871	4.000	5.301	20.000	2.845	22.780	1.419	9.150	5.694	63.250
2.861	16.640	5.904	4.000	5.335	20.000	2.861	23.030	1.427	9.370	5.728	63.940
2.877	16.830	5.938	4.000	5.369	21.000	2.878	23.180	1.435	9.610	5.761	64.480
2.894	16.960	5.970	4.000	5.402	21.000	2.895	23.280	1.444	9.750	5.795	65.170

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

2.911	16.980	6.004	4.000	5.435	21.000	2.911	23.560	1.452	9.920	5.828	66.220
2.927	17.090	6.037	4.000	5.469	21.000	2.928	23.730	1.460	10.100	5.861	67.230
2.944	17.230	6.069	4.000	5.502	21.000	2.945	24.050	1.469	10.190	5.895	68.080
2.961	17.390	6.105	4.000	5.536	21.000	2.961	24.280	1.477	10.280	5.928	69.040
2.977	17.680	6.136	4.000	5.570	22.000	2.978	24.390	1.485	10.400	5.961	70.050
2.994	17.710	6.170	4.000	5.602	22.000	2.995	24.720	1.494	10.670	5.995	70.680
3.011	17.990	6.202	4.000	5.636	22.000	3.011	24.830	1.502	10.820	6.028	71.800
3.027	17.960	6.235	5.000	5.668	22.000	3.028	25.140	1.511	10.960	6.061	72.910
3.044	18.170	6.269	5.000	5.703	23.000	3.045	25.420	1.519	11.060	6.095	74.060
3.061	18.170	6.302	5.000	5.735	23.000	3.061	25.550	1.528	11.210	6.128	75.250
3.077	18.370	6.337	5.000	5.769	23.000	3.078	25.860	1.536	11.590	6.161	76.460
3.094	18.490	6.369	5.000	5.802	23.000	3.095	26.110	1.544	11.640	6.195	77.660
3.111	18.680	6.403	5.000	5.834	23.000	3.111	26.060	1.552	11.810	6.228	78.480
3.127	18.870	6.437	5.000	5.868	23.000	3.128	26.470	1.561	11.980	6.261	79.590
3.144	19.040	6.470	5.000	5.902	23.000	3.144	26.850	1.569	12.110	6.295	80.630
3.161	19.090	6.504	5.000	5.936	23.000	3.161	26.940	1.577	12.360	6.328	81.630
3.177	19.330	6.536	5.000	5.970	23.000	3.178	27.040	1.586	12.440	6.361	82.310
3.194	19.470	6.570	5.000	6.003	24.000	3.195	27.200	1.594	12.720	6.395	83.150
3.211	19.480	6.603	5.000	6.034	24.000	3.211	27.410	1.602	12.850	6.428	83.610
3.227	19.760	6.635	5.000	6.069	24.000	3.228	27.600	1.611	12.780	6.461	83.050
3.244	19.900	6.669	6.000	6.102	24.000	3.245	27.870	1.619	13.130	6.495	82.950
3.261	20.120	6.702	6.000	6.134	24.000	3.261	28.080	1.628	13.310	6.528	82.990
3.277	20.160	6.737	6.000	6.168	24.000	3.278	28.270	1.636	13.230	6.561	83.090
3.294	20.460	6.767	6.000	6.202	25.000	3.294	28.620	1.644	13.520	6.594	83.330
3.311	20.580	6.802	6.000	6.235	25.000	3.311	28.760	1.652	13.640	6.628	83.470
3.328	20.650	6.835	6.000	6.267	25.000	3.328	28.950	1.661	13.680	6.661	82.220
3.344	20.910	6.870	7.000	6.301	25.000	3.345	29.320	1.669	13.950	6.695	82.130
3.361	20.860	6.904	7.000	6.335	26.000	3.361	29.570	1.678	14.140	6.728	82.320
3.378	21.180	6.935	7.000	6.368	26.000	3.378	29.680	1.686	14.200	6.761	82.090
3.394	21.370	6.970	7.000	6.402	26.000	3.395	29.990	1.694	14.330	6.795	80.810
3.411	21.340	7.002	7.000	6.437	26.000	3.411	30.310	1.702	14.480	6.828	79.740
3.427	21.510	7.036	7.000	6.467	27.000	3.428	30.470	1.711	14.760	6.861	79.560
3.444	21.910	7.069	7.000	6.501	27.000	3.445	30.690	1.719	14.820	6.895	80.040
3.461	21.980	7.102	7.000	6.535	27.000	3.461	31.000	1.727	14.970	6.928	80.600
3.477	22.010	7.135	7.000	6.568	27.000	3.478	31.460	1.736	15.170	6.961	81.310
3.494	22.320	7.167	7.000	6.600	28.000	3.495	31.630	1.744	15.390	6.995	82.290
3.511	22.420	7.202	7.000	6.634	28.000	3.511	31.940	1.752	15.580	7.028	83.040
3.527	22.660	7.234	7.000	6.668	29.000	3.528	32.100	1.761	15.570	7.061	83.690
3.544	22.820	7.269	7.000	6.700	29.000	3.544	32.290	1.769	15.810	7.095	83.740
3.561	22.940	7.302	7.000	6.733	29.000	3.561	32.570	1.778	16.060	7.128	84.280
3.578	23.180	7.335	7.000	6.767	29.000	3.578	33.000	1.786	16.020	7.162	84.730
3.594	23.220	7.369	7.000	6.802	30.000	3.595	33.150	1.794	16.420	7.195	84.980
3.611	23.410	7.402	7.000	6.833	30.000	3.611	33.540	1.802	16.450	7.228	84.460
3.627	23.760	7.436	7.000	6.867	30.000	3.628	33.860	1.811	16.710	7.261	84.200
3.644	23.830	7.468	8.000	6.901	31.000	3.645	34.040	1.819	17.000	7.295	84.560
3.661	23.920	7.502	8.000	6.934	31.000	3.661	34.420	1.827	16.990	7.328	85.160
3.677	24.080	7.536	8.000	6.967	31.000	3.678	34.860	1.836	17.170	7.361	85.300
3.694	24.420	7.568	8.000	7.000	31.000	3.694	35.160	1.844	17.420	7.395	85.830
3.711	24.490	7.601	8.000	7.035	32.000	3.711	35.360	1.852	17.510	7.428	86.530
3.727	24.580	7.635	8.000	7.067	32.000	3.728	35.580	1.861	17.730	7.461	86.670
3.744	24.950	7.668	9.000	7.100	32.000	3.744	35.870	1.869	17.830	7.495	86.990
3.761	25.050	7.702	9.000	7.134	32.000	3.761	36.190	1.877	18.040	7.528	87.520
3.778	25.240	7.734	9.000	7.167	32.000	3.778	36.460	1.886	18.270	7.561	88.010
3.794	25.330	7.768	9.000	7.201	33.000	3.794	36.830	1.894	18.470	7.595	87.920
3.811	25.510	7.801	9.000	7.232	33.000	3.811	37.200	1.902	18.690	7.628	88.010
3.828	25.710	7.835	9.000	7.267	34.000	3.828	37.580	1.911	18.850	7.661	88.790
3.844	25.950	7.869	9.000	7.300	34.000	3.844	37.860	1.919	19.080	7.695	89.290
3.861	26.160	7.903	9.000	7.335	34.000	3.861	38.260	1.927	19.320	7.728	88.040

3.877	26.280	7.935	9.000	7.368	34.000	3.878	38.540	1.936	19.500	7.761	87.450
3.894	26.300	7.968	9.000	7.402	35.000	3.895	38.950	1.944	19.680	7.795	87.790
3.911	26.560	8.002	9.000	7.434	35.000	3.911	39.190	1.952	19.790	7.828	88.270
3.928	26.800	8.034	9.000	7.467	36.000	3.928	39.640	1.961	19.990	7.861	88.500
3.944	27.150	8.068	9.000	7.501	36.000	3.944	39.890	1.969	20.330	7.895	88.910
3.961	27.190	8.101	9.000	7.535	36.000	3.961	40.320	1.977	20.630	7.928	89.320
3.977	27.340	8.135	9.000	7.567	36.000	3.978	40.680	1.986	20.700	7.961	88.910
3.994	27.700	8.167	9.000	7.600	37.000	3.994	41.170	1.994	21.080	7.995	88.790
4.011	27.700	8.199	9.000	7.634	37.000	4.011	41.340	2.002	21.390	8.028	88.650
4.027	28.100	8.234	9.000	7.668	38.000	4.028	41.910	2.011	21.390	8.061	88.360
4.044	28.140	8.266	9.000	7.700	38.000	4.044	42.180	2.019	21.800	8.094	88.570
4.061	28.450	8.302	9.000	7.733	38.000	4.061	42.680	2.028	22.030	8.128	88.800
4.078	28.660	8.333	9.000	7.767	38.000	4.078	42.860	2.036	22.420	8.161	88.850
4.094	28.770	8.368	9.000	7.801	38.000	4.094	43.450	2.044	22.660	8.194	89.040
4.111	28.990	8.401	9.000	7.833	39.000	4.111	43.700	2.052	22.960	8.228	89.190
4.128	29.120	8.433	9.000	7.867	39.000	4.128	43.970	2.061	23.180	8.261	89.470
4.144	29.390	8.467	9.000	7.901	40.000	4.145	44.400	2.069	23.530	8.295	89.120
4.161	29.370	8.500	9.000	7.934	40.000	4.161	44.860	2.078	23.900	8.328	88.970
4.178	29.750	8.534	9.000	7.966	40.000	4.177	45.300	2.086	24.090	8.361	89.190
4.194	29.880	8.565	9.000	8.000	41.000	4.194	45.600	2.094	24.240	8.394	89.030
4.211	30.140	8.600	9.000	8.033	41.000	4.211	46.050	2.103	24.500	8.428	88.960
4.227	30.440	8.633	9.000	8.067	41.000	4.228	46.510	2.111	24.960	8.461	88.400
4.244	30.620	8.665	9.000	8.099	41.000	4.244	46.560	2.119	25.240	8.494	86.760
4.261	30.720	8.699	9.000	8.133	42.000	4.261	47.120	2.128	25.420	8.528	86.300
4.277	31.040	8.733	10.000	8.166	42.000	4.278	47.500	2.136	25.860	8.561	86.280
4.294	31.060	8.767	10.000	8.198	43.000	4.294	48.030	2.144	25.970	8.595	86.370
4.311	31.360	8.798	10.000	8.232	43.000	4.311	48.360	2.152	26.360	8.628	86.710
4.327	31.720	8.834	10.000	8.266	43.000	4.328	48.660	2.161	26.580	8.661	87.140
4.344	31.780	8.867	10.000	8.300	43.000	4.344	48.970	2.169	26.750	8.695	87.570
4.361	32.100	8.899	10.000	8.333	44.000	4.361	49.580	2.178	27.130	8.728	87.800
4.378	32.320	8.933	10.000	8.368	45.000	4.378	49.920	2.186	27.410	8.761	87.930
4.394	32.590	8.965	10.000	8.399	45.000	4.394	50.360	2.194	27.670	8.795	87.450
4.411	32.790	8.999	10.000	8.432	45.000	4.411	50.780	2.202	28.010	8.828	87.730
4.428	32.820	9.032	10.000	8.467	45.000	4.428	51.120	2.211	28.250	8.861	88.020
4.444	32.980	9.066	10.000	8.499	46.000	4.444	51.400	2.219	28.540	8.894	88.040
4.461	33.240	9.098	10.000	8.532	47.000	4.461	51.840	2.227	28.720	8.928	87.550
4.478	33.370	9.131	10.000	8.565	47.000	4.478	52.200	2.236	29.070	8.961	87.460
4.494	33.640	9.165	10.000	8.599	47.000	4.494	52.800	2.244	29.370	8.994	87.660
4.511	33.800	9.197	11.000	8.631	47.000	4.511	53.100	2.252	29.550	9.028	87.880
4.528	34.220	9.233	11.000	8.664	48.000	4.528	53.440	2.261	29.930	9.061	88.200
4.544	34.230	9.265	11.000	8.698	49.000	4.544	53.990	2.269	30.190	9.094	88.620
4.561	34.590	9.298	11.000	8.732	49.000	4.561	54.240	2.277	30.480	9.128	89.030
4.578	34.650	9.333	11.000	8.765	49.000	4.578	54.530	2.286	30.750	9.161	89.350
4.594	35.030	9.366	11.000	8.798	49.000	4.594	54.990	2.294	31.040	9.194	88.900
4.611	35.200	9.398	11.000	8.832	49.000	4.611	55.480	2.302	31.410	9.228	89.100
4.628	35.370	9.431	12.000	8.866	50.000	4.627	55.860	2.311	31.670	9.261	89.430
4.644	35.710	9.466	12.000	8.898	50.000	4.644	56.210	2.319	31.940	9.294	89.820
4.661	35.810	9.499	12.000	8.931	51.000	4.661	56.630	2.328	32.240	9.328	90.150
4.678	36.030	9.531	12.000	8.965	51.000	4.678	56.870	2.336	32.510	9.361	90.680
4.694	36.260	9.564	12.000	8.999	51.000	4.695	57.440	2.344	33.060	9.394	91.110
4.711	36.470	9.598	12.000	9.030	51.000	4.711	57.640	2.353	33.180	9.427	91.370
4.728	36.640	9.632	12.000	9.065	52.000	4.728	57.930	2.361	33.480	9.461	91.920
4.744	36.810	9.664	12.000	9.098	52.000	4.744	58.060	2.369	33.730	9.494	92.350
4.761	36.810	9.699	12.000	9.131	52.000	4.761	58.600	2.378	34.170	9.528	92.740
4.778	36.980	9.732	12.000	9.164	52.000	4.778	58.990	2.386	34.250	9.561	93.240
4.794	37.160	9.765	12.000	9.197	52.000	4.795	59.260	2.394	34.720	9.594	93.900
4.811	37.390	9.800	12.000	9.232	52.000	4.811	59.750	2.402	35.080	9.628	94.680
4.827	37.460	9.831	12.000	9.265	52.000	4.828	60.100	2.411	35.320	9.661	94.930
4.844	37.580	9.866	12.000	9.299	52.000	4.844	60.330	2.419	35.570	9.694	94.540

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

4.861	37.720	9.899	12.000	9.333	53.000	4.861	60.600	2.427	36.010	9.728	94.280
4.878	37.790	9.931	12.000	9.365	53.000	4.878	60.700	2.436	36.280	9.761	94.990
4.894	38.050	9.965	12.000	9.398	54.000	4.894	60.960	2.444	36.710	9.794	94.870
4.911	38.300	9.997	12.000	9.430	54.000	4.911	61.290	2.452	37.060	9.828	95.660
4.928	38.470	10.032	12.000	9.466	54.000	4.928	61.540	2.461	37.330	9.861	96.310
4.944	38.700	10.064	12.000	9.498	54.000	4.944	61.300	2.469	37.760	9.894	96.730
4.961	38.870	10.098	12.000	9.531	54.000	4.961	61.880	2.477	38.170	9.928	97.200
4.978	39.020	10.131	12.000	9.565	54.000	4.978	62.280	2.486	38.400	9.961	97.850
4.994	39.170	10.165	12.000	9.597	54.000	4.994	62.630	2.494	38.740	9.994	98.500
5.011	39.390	10.197	12.000	9.631	54.000	5.011	63.120	2.502	39.130	10.028	98.540
5.028	39.560	10.231	12.000	9.664	54.000	5.028	63.510	2.510	39.330	10.061	99.080
5.044	39.690	10.266	12.000	9.698	54.000	5.044	63.920	2.519	39.800	10.094	97.730
5.061	39.870	10.299	12.000	9.730	55.000	5.061	64.630	2.527	40.170	10.128	97.200
5.078	40.010	10.333	12.000	9.764	55.000	5.078	64.810	2.536	40.500	10.161	96.760
5.094	40.130	10.364	12.000	9.798	55.000	5.094	65.180	2.544	40.860	10.195	96.370
5.111	40.520	10.398	12.000	9.831	55.000	5.111	65.850	2.552	41.090	10.228	96.420
5.128	40.610	10.431	12.000	9.865	55.000	5.127	66.210	2.561	41.350	10.261	96.080
5.144	40.890	10.465	12.000	9.897	55.000	5.144	66.690	2.569	41.860	10.294	95.550
5.161	41.150	10.499	12.000	9.931	55.000	5.161	67.160	2.577	42.260	10.328	94.880
5.178	41.220	10.530	11.000	9.964	55.000	5.178	67.320	2.586	42.570	10.361	93.490
5.194	41.420	10.565	11.000	9.996	56.000	5.195	67.860	2.594	42.820	10.395	93.020
5.211	41.690	10.598	11.000	10.030	56.000	5.211	68.410	2.602	43.210	10.428	92.950
5.227	42.010	10.632	11.000	10.063	56.000	5.228	68.880	2.611	43.610	10.461	92.900
5.244	42.210	10.665	11.000	10.097	56.000	5.244	69.410	2.619	44.050	10.494	93.120
5.261	42.280	10.697	10.000	10.128	56.000	5.261	69.950	2.627	44.280	10.528	92.940
5.278	42.640	10.732	10.000	10.163	55.000	5.278	70.550	2.636	44.750	10.561	89.400
5.294	42.630	10.765	10.000	10.196	55.000	5.294	70.960	2.644	45.090	10.594	88.360
5.311	42.790	10.800	10.000	10.230	55.000	5.311	71.560	2.653	45.390	10.628	87.920
5.328	42.990	10.831	10.000	10.265	55.000	5.328	72.220	2.661	45.760	10.661	87.600
5.344	42.960	10.865	10.000	10.297	56.000	5.344	72.450	2.669	46.190	10.695	87.660
5.361	43.000	10.899	10.000	10.331	56.000	5.361	73.160	2.678	46.500	10.728	87.740
5.377	43.070	10.931	11.000	10.363	56.000	5.378	73.650	2.686	46.840	10.761	88.070
5.394	43.460	10.964	11.000	10.397	56.000	5.394	74.200	2.694	47.140	10.795	88.390
5.411	43.670	10.998	11.000	10.429	56.000	5.411	74.630	2.703	47.630	10.828	88.840
5.428	43.820	11.031	11.000	10.463	56.000	5.428	75.350	2.711	47.960	10.861	89.210
5.444	44.060	11.064	12.000	10.496	56.000	5.444	75.690	2.719	48.340	10.895	89.460
5.461	44.280	11.097	12.000	10.528	57.000	5.461	76.210	2.727	48.810	10.928	89.940
5.478	44.530	11.132	12.000	10.562	58.000	5.478	76.750	2.736	49.040	10.961	90.410
5.494	44.620	11.164	12.000	10.595	58.000	5.495	77.280	2.744	49.210	10.995	90.680
5.511	44.810	11.199	12.000	10.629	58.000	5.511	77.720	2.753	49.650	11.028	90.950
5.528	45.160	11.231	12.000	10.663	58.000	5.528	78.320	2.761	49.900	11.061	91.190
5.544	45.420	11.266	13.000	10.695	59.000	5.544	78.790	2.769	49.970	11.095	91.460
5.561	45.630	11.298	13.000	10.729	60.000	5.561	79.270	2.777	50.060	11.128	91.750
5.577	46.040	11.330	13.000	10.763	60.000	5.578	79.100	2.786	50.350	11.161	91.940
5.594	46.510	11.366	13.000	10.797	60.000	5.594	79.690	2.794	50.840	11.195	91.980
5.611	46.760	11.397	13.000	10.828	60.000	5.611	80.200	2.802	51.020	11.228	92.160
5.627	47.050	11.431	13.000	10.863	61.000	5.628	80.760	2.811	51.310	11.261	91.960
5.644	47.380	11.465	13.000	10.896	62.000	5.644	81.380	2.819	51.650	11.295	89.940
5.661	47.680	11.497	14.000	10.929	62.000	5.661	81.790	2.827	52.120	11.328	88.990
5.678	48.070	11.531	14.000	10.962	63.000	5.678	82.310	2.836	52.290	11.361	88.570
5.694	48.500	11.564	14.000	10.994	63.000	5.694	82.860	2.844	52.790	11.394	88.180
5.711	48.910	11.598	14.000	11.029	64.000	5.711	83.450	2.853	52.950	11.428	87.910
5.728	49.240	11.630	14.000	11.062	64.000	5.728	83.880	2.861	53.390	11.461	86.700
5.744	49.650	11.664	14.000	11.094	64.000	5.744	84.490	2.869	53.650	11.495	85.650
5.761	50.160	11.698	14.000	11.129	64.000	5.761	84.960	2.878	54.160	11.528	84.920
5.778	50.570	11.732	14.000	11.162	65.000	5.778	85.630	2.886	54.230	11.561	84.130
5.794	51.040	11.765	14.000	11.196	65.000	5.794	85.830	2.894	54.620	11.595	82.970
5.811	51.390	11.797	14.000	11.228	66.000	5.811	86.450	2.903	55.000	11.628	80.860

5.827	51.660	11.831	14.000	11.264	67.000	5.828	87.160	2.911	55.370	11.661	77.770
5.844	52.240	11.865	14.000	11.295	67.000	5.844	87.480	2.920	55.630	11.695	74.910
5.861	52.750	11.898	14.000	11.329	68.000	5.861	88.110	2.928	55.960	11.728	73.160
5.877	53.100	11.930	15.000	11.363	68.000	5.878	88.470	2.936	56.110	11.761	71.840
5.894	53.740	11.964	15.000	11.394	68.000	5.894	89.080	2.944	56.650	11.795	70.670
5.911	54.080	11.997	15.000	11.429	69.000	5.911	89.530	2.953	56.820	11.828	69.990
5.927	54.530	12.029	15.000	11.461	69.000	5.928	89.930	2.961	56.650	11.861	69.350
5.944	54.870	12.064	15.000	11.496	70.000	5.944	90.520	2.969	57.110	11.895	68.590
5.961	55.260	12.097	15.000	11.528	71.000	5.961	90.860	2.977	57.420	11.928	67.860
5.977	55.570	12.131	16.000	11.561	71.000	5.978	91.390	2.986	57.700	11.962	67.090
5.994	56.190	12.164	16.000	11.595	72.000	5.995	91.810	2.994	58.100	11.995	66.540
6.011	56.540	12.197	16.000	11.627	72.000	6.011	92.390	3.003	58.480	12.028	66.170
6.027	57.070	12.230	16.000	11.663	72.000	6.028	92.830	3.011	58.810	12.061	65.360
6.044	57.440	12.264	16.000	11.694	73.000	6.045	93.250	3.019	59.050	12.095	64.930
6.061	58.080	12.297	16.000	11.729	73.000	6.061	93.580	3.027	59.360	12.128	64.480
6.077	58.470	12.330	16.000	11.762	75.000	6.078	94.270	3.036	59.710	12.161	64.430
6.094	58.930	12.363	17.000	11.794	75.000	6.095	94.780	3.044	59.910	12.195	64.080
6.111	59.330	12.396	17.000	11.828	75.000	6.111	95.280	3.052	60.130	12.228	63.930
6.127	59.890	12.430	18.000	11.861	76.000	6.128	95.830	3.060	60.420	12.261	63.870
6.144	60.250	12.463	18.000	11.896	77.000	6.144	96.420	3.069	60.700	12.295	64.040
6.161	60.710	12.496	18.000	11.926	78.000	6.161	96.900	3.077	61.210	12.328	63.830
6.177	61.280	12.530	18.000	11.961	78.000	6.178	97.520	3.086	61.400	12.361	63.800
6.194	61.890	12.563	19.000	11.994	79.000	6.195	97.960	3.094	61.730	12.395	63.930
6.211	62.410	12.598	19.000	12.026	79.000	6.211	98.650	3.103	61.720	12.428	63.700
6.227	63.100	12.630	19.000	12.060	79.000	6.228	98.970	3.111	61.770	12.461	63.610
6.244	63.380	12.663	20.000	12.094	80.000	6.244	99.650	3.119	62.020	12.495	63.520
6.260	63.460	12.698	20.000	12.128	80.000	6.261	100.190	3.127	62.080	12.528	63.540
6.277	63.950	12.731	20.000	12.161	81.000	6.278	100.820	3.136	62.430	12.562	63.460
6.294	64.430	12.763	21.000	12.195	82.000	6.295	101.310	3.144	62.600	12.595	63.360
6.311	64.960	12.797	21.000	12.227	83.000	6.311	101.840	3.153	62.380	12.628	63.280
6.327	65.600	12.831	21.000	12.260	83.000	6.328	102.400	3.161	62.450	12.661	63.120
6.344	66.070	12.864	21.000	12.294	83.000	6.344	102.890	3.169	62.820	12.695	62.950
6.361	66.630	12.896	22.000	12.326	84.000	6.361	103.500	3.177	63.010	12.728	62.830
6.377	67.130	12.930	22.000	12.361	85.000	6.378	103.960	3.186	63.140	12.761	62.740
6.394	67.760	12.963	22.000	12.393	86.000	6.394	104.610	3.194	63.400	12.795	62.420
6.410	68.240	12.997	23.000	12.427	86.000	6.411	105.090	3.203	63.780	12.828	62.320
6.427	68.750	13.031	23.000	12.459	87.000	6.428	105.590	3.211	63.970	12.861	62.120
6.444	69.310	13.063	23.000	12.492	88.000	6.444	106.220	3.219	64.100	12.895	61.800
6.461	70.000	13.097	23.000	12.526	89.000	6.461	106.670	3.227	64.370	12.928	61.480
6.477	70.470	13.130	24.000	12.558	90.000	6.478	107.140	3.236	64.660	12.961	61.280
6.494	71.180	13.165	24.000	12.594	90.000	6.495	107.850	3.244	64.770	12.995	60.870
6.511	71.740	13.196	24.000	12.626	91.000	6.511	108.460	3.253	64.730	13.028	60.710
6.527	72.240	13.231	25.000	12.661	91.000	6.528	109.010	3.261	64.870	13.061	60.120
6.544	72.970	13.264	25.000	12.694	91.000	6.545	109.420	3.269	65.040	13.095	59.580
6.561	73.590	13.298	25.000	12.727	91.000	6.561	110.070	3.277	65.140	13.128	59.290
6.577	74.320	13.330	26.000	12.760	91.000	6.578	110.590	3.286	65.420	13.161	58.800
6.594	74.960	13.363	26.000	12.793	92.000	6.594	111.050	3.294	65.640	13.194	58.820
6.610	75.670	13.397	26.000	12.827	92.000	6.611	111.750	3.303	65.830	13.228	58.420
6.627	76.300	13.430	27.000	12.860	92.000	6.628	112.150	3.311	66.010	13.261	58.380
6.644	76.780	13.463	27.000	12.892	93.000	6.644	112.630	3.319	66.090	13.294	58.080
6.660	77.490	13.496	27.000	12.926	93.000	6.661	112.980	3.327	66.350	13.328	57.340
6.677	78.090	13.530	28.000	12.959	93.000	6.678	113.790	3.336	66.580	13.361	56.940
6.694	78.790	13.564	28.000	12.993	93.000	6.694	114.110	3.344	66.640	13.395	56.640
6.710	79.460	13.596	29.000	13.026	94.000	6.711	114.770	3.353	66.810	13.428	56.370
6.727	80.160	13.632	29.000	13.059	94.000	6.728	115.230	3.361	66.860	13.461	55.110
6.744	80.840	13.664	30.000	13.092	94.000	6.744	115.800	3.369	66.990	13.494	55.910
6.761	81.540	13.697	30.000	13.126	94.000	6.761	116.310	3.377	67.210	13.528	55.630
6.777	82.250	13.729	30.000	13.161	95.000	6.778	116.910	3.386	67.260	13.561	55.480
6.794	82.880	13.763	31.000	13.192	95.000	6.795	117.550	3.394	67.600	13.594	55.130

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

6.810	83.580	13.797	31.000	13.227	96.000	6.811	117.920	3.403	67.760	13.628	54.840
6.827	84.170	13.830	31.000	13.260	97.000	6.828	118.650	3.411	67.970	13.661	54.840
6.844	84.920	13.864	32.000	13.294	97.000	6.845	119.280	3.419	68.080	13.694	54.420
6.861	85.560	13.896	32.000	13.326	98.000	6.861	119.650	3.427	68.330	13.728	54.170
6.877	86.250	13.930	32.000	13.359	98.000	6.878	120.170	3.436	68.550	13.761	53.890
6.894	86.920	13.962	32.000	13.393	100.000	6.894	120.790	3.444	68.440	13.794	53.810
6.911	87.590	13.997	33.000	13.424	101.000	6.911	121.370	3.453	68.470	13.828	52.910
6.927	88.270	14.031	34.000	13.459	101.000	6.928	121.700	3.461	68.920	13.861	51.890
6.944	88.960	14.063	34.000	13.492	102.000	6.944	122.060	3.469	69.130	13.894	51.460
6.960	89.540	14.097	34.000	13.526	103.000	6.961	122.510	3.477	69.280	13.928	50.960
6.977	90.140	14.131	34.000	13.560	104.000	6.978	122.900	3.486	69.300	13.961	50.350
6.994	90.900	14.162	35.000	13.592	105.000	6.994	123.250	3.494	69.540	13.994	49.760
7.011	91.610	14.196	35.000	13.627	106.000	7.011	123.900	3.503	69.640	14.028	49.540
7.027	92.320	14.230	36.000	13.660	108.000	7.028	124.260	3.511	69.640	14.061	49.460
7.044	93.010	14.264	36.000	13.694	108.000	7.044	124.540	3.519	70.150	14.094	49.260
7.060	93.780	14.295	36.000	13.725	109.000	7.061	125.060	3.527	70.460	14.128	49.430
7.077	94.290	14.329	37.000	13.760	110.000	7.078	125.520	3.536	70.550	14.161	49.370
7.094	95.300	14.362	38.000	13.792	111.000	7.095	126.010	3.544	70.610	14.194	49.310
7.110	95.960	14.394	38.000	13.824	112.000	7.111	126.600	3.552	70.740	14.227	49.210
7.127	96.720	14.428	39.000	13.860	113.000	7.128	127.140	3.561	70.720	14.261	49.030
7.144	97.150	14.462	40.000	13.891	114.000	7.145	127.700	3.569	70.690	14.294	48.900
7.161	97.920	14.496	40.000	13.926	115.000	7.161	128.210	3.577	70.980	14.328	48.600
7.177	98.550	14.529	41.000	13.957	116.000	7.178	127.510	3.586	71.050	14.361	48.350
7.194	99.030	14.561	41.000	13.991	117.000	7.195	127.830	3.594	71.030	14.395	48.010
7.210	99.540	14.596	41.000	14.026	119.000	7.211	128.060	3.602	70.900	14.428	47.750
7.227	100.260	14.629	42.000	14.058	119.000	7.228	128.450	3.610	71.050	14.461	47.560
7.244	100.960	14.663	43.000	14.093	120.000	7.245	128.740	3.619	70.940	14.494	47.310
7.261	101.590	14.696	43.000	14.126	122.000	7.261	129.160	3.627	70.820	14.528	47.370
7.277	101.710	14.731	43.000	14.159	123.000	7.278	129.360	3.636	70.920	14.561	47.260
7.294	100.210	14.762	44.000	14.191	123.000	7.295	129.850	3.644	71.000	14.594	47.240
7.310	100.750	14.796	44.000	14.225	124.000	7.311	130.310	3.653	71.080	14.628	47.200
7.327	101.320	14.829	45.000	14.259	125.000	7.328	130.680	3.661	71.280	14.661	47.210
7.344	102.000	14.861	45.000	14.291	126.000	7.344	131.000	3.669	71.450	14.694	47.180
7.360	102.540	14.895	45.000	14.324	126.000	7.361	131.360	3.677	71.650	14.728	47.250
7.377	103.340	14.928	45.000	14.358	127.000	7.378	131.930	3.686	71.750	14.761	47.250
7.394	104.020	14.963	45.000	14.390	128.000	7.394	132.160	3.694	71.830	14.794	47.180
7.410	104.700	14.995	44.000	14.423	128.000	7.411	132.580	3.703	72.170	14.828	47.200
7.427	105.350	15.029	43.000	14.457	128.000	7.428	133.040	3.711	72.160	14.861	47.300
7.444	106.170	15.062	43.000	14.492	129.000	7.444	133.340	3.719	72.290	14.894	47.310
7.461	106.800	15.097	43.000	14.523	129.000	7.461	133.640	3.727	72.370	14.928	37.110
7.477	107.490	15.130	43.000	14.558	129.000	7.478	133.760	3.736	72.130	14.961	34.540
7.494	108.290	15.162	43.000	14.591	129.000	7.494	134.010	3.744	71.920	14.995	32.790
7.510	109.040	15.196	43.000	14.625	129.000	7.511	134.050	3.753	72.030	15.028	32.110
7.527	109.810	15.229	43.000	14.658	128.000	7.528	133.550	3.761	72.100	15.061	31.520
7.544	110.500	15.263	43.000	14.690	128.000	7.544	132.410	3.769	71.690	15.095	31.260
7.561	111.270	15.295	43.000	14.725	127.000	7.561	131.400	3.777	71.650	15.128	30.890
7.577	111.990	15.329	43.000	14.757	127.000	7.578	130.770	3.786	71.700	15.161	30.680
7.594	112.860	15.362	43.000	14.791	127.000	7.595	130.820	3.794	71.510	15.195	30.490
7.610	113.570	15.394	44.000	14.823	127.000	7.611	130.790	3.803	71.630	15.228	30.190
7.627	114.330	15.428	45.000	14.857	128.000	7.628	130.760	3.810	69.650	15.261	29.910
7.644	114.960	15.462	45.000	14.890	128.000	7.644	130.860	3.819	68.640	15.294	29.810
7.660	115.720	15.495	45.000	14.922	128.000	7.661	130.870	3.827	67.500	15.328	29.730
7.677	116.710	15.529	44.000	14.957	128.000	7.678	131.170	3.835	67.110	15.361	29.710
7.694	117.270	15.563	43.000	14.990	129.000	7.694	131.260	3.843	66.600	15.395	29.530
7.711	117.900	15.596	43.000	15.025	130.000	7.711	131.610	3.852	66.230	15.428	29.420
7.727	118.510	15.628	43.000	15.058	131.000	7.728	132.030	3.860	65.880	15.461	29.610
7.744	119.300	15.662	42.000	15.092	131.000	7.744	132.110	3.869	65.820	15.495	29.480
7.760	119.900	15.696	41.000	15.126	132.000	7.761	132.540	3.877	65.750	15.528	29.360

7.777	120.730	15.727	41.000	15.157	132.000	7.778	132.830	3.886	65.440	15.561	29.270
7.794	121.400	15.762	41.000	15.192	132.000	7.795	132.930	3.894	65.320	15.595	29.270
7.810	122.130	15.795	40.000	15.223	133.000	7.811	132.980	3.903	65.150	15.628	29.040
7.827	122.850	15.827	41.000	15.259	133.000	7.828	133.110	3.911	64.790	15.661	29.000
7.844	123.670	15.861	41.000	15.290	134.000	7.844	133.300	3.919	64.440	15.695	28.840
7.860	124.460	15.894	42.000	15.324	134.000	7.861	133.140	3.927	64.210	15.728	28.990
7.877	125.030	15.928	43.000	15.358	134.000	7.878	133.250	3.936	63.840	15.761	28.920
7.894	125.670	15.960	43.000	15.390	135.000	7.895	133.230	3.944	63.670	15.795	28.800
7.910	126.400	15.995	45.000	15.424	134.000	7.911	133.350	3.953	63.420	15.828	28.820
7.927	127.100	16.027	45.000	15.458	134.000	7.928	133.350	3.961	63.280	15.861	28.680
7.944	127.750	16.062	46.000	15.492	134.000	7.944	133.570	3.969	63.170	15.895	28.530
7.961	128.430	16.095	47.000	15.525	132.000	7.961	133.380	3.977	63.100	15.928	28.450
7.977	129.090	16.127	47.000	15.558	130.000	7.978	133.080	3.986	62.440	15.961	28.430
7.994	129.830	16.161	48.000	15.591	125.000	7.994	133.210	3.994	62.330	15.995	28.650
8.010	130.650	16.194	49.000	15.625	120.000	8.011	133.010	4.002	62.260	16.028	28.360
8.027	131.280	16.228	49.000	15.660	115.000	8.028	133.190	4.011	62.050	16.061	28.350
8.044	132.030	16.260	50.000	15.691	108.000	8.045	133.320	4.019	61.660	16.095	28.310
8.060	132.780	16.294	51.000	15.725	104.000	8.061	133.660	4.027	59.960	16.128	28.050
8.077	133.490	16.325	51.000	15.758	100.000	8.078	133.930	4.036	58.580	16.161	27.600
8.094	134.310	16.359	52.000	15.791	99.000	8.094	134.150	4.044	56.730	16.194	27.240
8.111	134.980	16.393	52.000	15.824	100.000	8.111	134.560	4.053	54.140	16.228	26.950
8.127	135.870	16.426	53.000	15.857	100.000	8.128	134.670	4.061	51.200	16.261	26.810
8.144	136.480	16.461	54.000	15.891	101.000	8.144	135.240	4.069	49.960	16.295	26.690
8.161	137.360	16.492	54.000	15.924	101.000	8.161	135.770	4.077	49.110	16.328	26.470
8.177	138.140	16.527	55.000	15.957	102.000	8.178	135.980	4.086	48.650	16.361	25.600
8.194	138.930	16.560	56.000	15.991	102.000	8.194	136.570	4.094	48.350	16.395	24.620
8.211	139.660	16.594	56.000	16.025	102.000	8.211	136.820	4.102	48.170	16.428	24.070
8.227	140.430	16.627	57.000	16.059	102.000	8.228	137.130	4.111	47.180	16.461	23.600
8.244	141.210	16.660	58.000	16.090	101.000	8.244	137.490	4.119	46.930	16.495	23.250
8.260	142.110	16.693	58.000	16.124	101.000	8.261	137.880	4.127	40.350	16.528	22.960
8.277	142.700	16.724	60.000	16.157	100.000	8.278	138.230	4.136	40.790	16.561	22.710
8.294	143.440	16.760	60.000	16.191	100.000	8.295	138.530	4.144	40.320	16.594	22.440
8.310	144.350	16.793	62.000	16.223	100.000	8.311	138.830	4.152	40.150	16.628	22.300
8.327	145.160	16.826	63.000	16.256	101.000	8.328	139.220	4.161	40.000	16.661	22.210
8.344	145.920	16.859	64.000	16.291	101.000	8.344	139.620	4.169	39.910	16.694	21.920
8.361	146.620	16.893	64.000	16.323	101.000	8.361	139.900	4.177	39.880	16.728	21.680
8.377	147.280	16.926	65.000	16.356	101.000	8.378	140.290	4.186	39.790	16.762	21.440
8.394	148.160	16.960	67.000	16.390	101.000	8.394	140.650	4.194	39.790	16.795	21.220
8.411	148.800	16.994	68.000	16.424	101.000	8.411	141.170	4.203	39.750	16.828	20.870
8.427	149.630	17.027	68.000	16.457	101.000	8.428	141.340	4.211	39.790	16.861	20.260
8.444	150.220	17.061	69.000	16.491	101.000	8.445	141.680	4.219	39.850	16.889	19.730
8.461	150.890	17.093	71.000	16.525	100.000	8.461	142.040	4.227	39.760		
8.477	151.710	17.126	72.000	16.556	100.000	8.478	142.410	4.236	39.690		
8.494	152.380	17.161	72.000	16.591	98.000	8.494	142.430	4.244	39.600		
8.511	152.870	17.192	73.000	16.624	98.000	8.511	142.620	4.253	39.650		
8.527	153.630	17.225	75.000	16.656	97.000	8.528	142.890	4.261	39.390		
8.544	154.160	17.260	75.000	16.690	97.000	8.544	143.100	4.269	39.230		
8.561	154.950	17.292	76.000	16.722	95.000	8.561	143.120	4.277	38.980		
8.577	155.580	17.325	78.000	16.758	95.000	8.578	143.100	4.286	38.980		
8.594	156.420	17.358	79.000	16.789	94.000	8.594	141.320	4.294	38.810		
8.611	157.250	17.393	79.000	16.823	94.000	8.611	135.820	4.302	38.870		
8.627	157.970	17.426	80.000	16.856	93.000	8.627	134.470	4.311	38.730		
8.644	158.770	17.458	82.000	16.890	93.000	8.644	132.750	4.319	38.770		
8.660	159.240	17.494	83.000	16.924	92.000	8.661	131.090	4.327	38.670		
8.677	159.940	17.526	83.000	16.956	91.000	8.678	130.280	4.336	38.300		
8.694	160.160	17.559	84.000	16.991	91.000	8.694	129.830	4.344	35.740		
8.711	160.630	17.593	86.000	17.024	91.000	8.711	129.740	4.353	35.230		
8.727	161.200	17.625	86.000	17.058	90.000	8.728	129.460	4.361	34.310		
8.744	162.010	17.659	87.000	17.090	90.000	8.744	129.150	4.369	33.090		

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

8.761	162.770	17.691	89.000	17.123	90.000	8.761	128.940	4.377	32.730
8.777	163.220	17.726	90.000	17.157	90.000	8.778	128.710	4.386	32.510
8.794	163.920	17.757	90.000	17.190	89.000	8.794	128.330	4.394	32.370
8.811	164.630	17.792	91.000	17.225	89.000	8.811	127.900	4.402	32.380
8.827	165.490	17.824	93.000	17.256	89.000	8.828	127.010	4.411	32.170
8.844	166.000	17.859	94.000	17.290	89.000	8.844	126.590	4.419	32.110
8.861	166.600	17.890	94.000	17.323	88.000	8.861	125.610	4.427	32.020
8.877	167.390	17.925	95.000	17.356	88.000	8.878	125.210	4.436	32.110
8.894	168.180	17.959	96.000	17.390	88.000	8.894	124.150	4.444	32.070
8.911	168.810	17.992	97.000	17.423	88.000	8.911	114.080	4.453	31.960
8.927	169.670	18.026	97.000	17.458	88.000	8.928	109.860	4.461	31.920
8.944	170.480	18.058	98.000	17.492	88.000	8.944	107.660	4.469	31.770
8.961	171.110	18.092	99.000	17.525	88.000	8.961	106.370	4.478	31.720
8.977	171.970	18.125	100.000	17.557	88.000	8.977	105.320	4.486	31.520
8.994	120.840	18.157	100.000	17.590	88.000	8.994	104.430	4.494	31.580
9.011	108.170	18.191	101.000	17.625	88.000	9.011	103.990	4.503	31.530
9.027	104.680	18.224	101.000	17.656	87.000	9.027	103.390	4.511	31.340
9.044	103.440	18.258	102.000	17.690	87.000	9.044	102.840	4.519	31.180
9.061	102.620	18.290	102.000	17.724	87.000	9.061	102.590	4.527	31.110
9.077	101.480	18.324	103.000	17.757	87.000	9.077	102.330	4.536	31.260
9.094	100.980	18.357	103.000	17.791	87.000	9.094	102.050	4.544	31.140
9.111	101.280	18.391	103.000	17.823	87.000	9.111	101.610	4.553	31.180
9.127	101.340	18.425	104.000	17.857	87.000	9.128	99.640	4.561	31.200
9.144	101.720	18.457	104.000	17.891	87.000	9.144	98.480	4.569	31.240
9.161	101.810	18.491	104.000	17.924	87.000	9.161	98.220	4.577	31.200
9.178	102.200	18.524	104.000	17.957	86.000	9.178	97.880	4.586	31.330
9.194	102.630	18.558	105.000	17.990	86.000	9.194	97.760	4.594	30.980
9.211	102.880	18.590	104.000	18.024	86.000	9.211	97.860	4.602	30.710
9.228	103.390	18.623	104.000	18.055	86.000	9.228	98.000	4.611	30.780
9.244	103.690	18.657	103.000	18.090	86.000	9.244	98.170	4.619	30.500
9.261	102.930	18.689	102.000	18.123	86.000	9.261	98.270	4.627	30.550
9.278	103.430	18.724	102.000	18.156	86.000	9.278	98.760	4.636	30.370
9.294	103.720	18.756	101.000	18.190	86.000	9.294	98.840	4.644	30.260
9.311	104.070	18.790	101.000	18.222	87.000	9.311	99.110	4.652	30.100
9.328	104.580	18.824	100.000	18.256	87.000	9.327	99.270	4.661	30.040
9.344	104.990	18.856	100.000	18.287	88.000	9.344	99.710	4.669	30.100
9.361	105.440	18.890	99.000	18.323	89.000	9.361	100.010	4.677	30.010
9.377	105.800	18.924	99.000	18.355	89.000	9.378	100.180	4.686	30.020
9.394	106.370	18.959	100.000	18.390	89.000	9.394	100.370	4.694	30.020
9.411	106.920	18.990	100.000	18.423	89.000	9.411	100.270	4.702	29.920
9.427	107.420	19.023	101.000	18.457	88.000	9.427	100.420	4.711	29.830
9.444	107.850	19.058	101.000	18.491	83.000	9.444	100.530	4.719	29.750
9.461	108.400	19.089	101.000	18.521	76.000	9.461	100.280	4.728	29.740
9.477	108.750	19.123	102.000	18.557	69.000	9.478	99.880	4.736	29.670
9.494	109.360	19.156	102.000	18.589	61.000	9.494	99.870	4.744	29.620
9.511	109.890	19.190	103.000	18.622	51.000	9.511	99.700	4.753	29.340
9.528	110.190	19.224	104.000	18.655	46.000	9.528	99.720	4.761	29.230
9.544	110.620	19.255	104.000			9.544	99.740	4.769	29.190
9.561	111.220	19.290	105.000			9.561	99.790	4.778	29.120
9.578	111.540	19.323	105.000			9.578	99.640	4.786	29.080
9.594	111.780	19.358	105.000			9.594	99.600	4.794	29.080
9.611	112.420	19.389	105.000			9.611	99.410	4.802	28.870
9.627	112.700	19.425	105.000			9.628	99.330	4.811	28.960
9.644	113.110	19.457	105.000			9.644	99.330	4.819	28.880
9.661	113.600	19.490	105.000			9.661	99.280	4.827	28.710
9.678	113.920	19.524	105.000			9.678	99.430	4.836	28.540
9.694	114.440	19.556	105.000			9.694	99.470	4.844	28.440
9.711	114.840	19.590	105.000			9.711	99.530	4.852	28.380

9.727	114.950	19.621	106.000	9.727	99.660	4.861	28.240
9.744	114.480	19.657	106.000	9.744	99.760	4.869	27.510
9.761	109.040	19.688	107.000	9.761	99.990	4.877	24.740
9.777	107.240	19.721	108.000	9.777	100.240	4.886	22.930
9.794	106.650	19.756	108.000	9.794	100.380	4.894	20.870
9.811	106.400	19.788	109.000	9.811	100.580	4.902	20.260
9.828	105.830	19.824	111.000	9.827	100.600	4.911	19.600
9.844	105.930	19.855	112.000	9.844	100.560	4.919	19.330
9.861	105.900	19.890	112.000	9.861	100.330	4.927	18.870
9.878	103.530	19.923	110.000	9.878	100.530	4.936	18.570
9.894	103.500	19.955	108.000	9.894	100.490	4.944	18.240
9.911	103.610	19.989	105.000	9.911	100.610	4.952	17.920
9.927	103.390	20.022	103.000	9.927	100.650	4.961	17.850
9.944	103.760	20.056	101.000	9.944	100.850	4.969	17.590
9.961	103.800	20.088	98.000	9.961	100.700	4.977	17.540
9.978	104.140	20.122	95.000	9.978	100.920	4.986	17.350
9.994	104.300	20.155	91.000	9.994	100.790	4.994	17.190
10.011	104.430	20.187	89.000	10.011	100.720	5.002	17.100
10.027	104.130	20.221	90.000	10.028	101.050	5.011	16.940
10.044	103.710	20.254	91.000	10.044	100.680	5.019	16.600
10.061	103.730	20.289	91.000	10.061	100.210	5.028	16.530
10.077	103.770	20.322	92.000	10.078	99.340	5.036	16.680
10.094	103.820	20.355	93.000	10.094	97.670	5.044	16.390
10.111	103.800	20.389	93.000	10.111	96.740	5.053	16.290
10.128	104.140	20.421	94.000	10.128	95.900	5.061	16.260
10.144	104.260	20.456	94.000	10.144	95.040	5.069	16.170
10.161	104.480	20.487	95.000	10.161	94.560	5.078	16.020
10.177	104.920	20.521	96.000	10.178	94.320	5.086	15.900
10.194	105.030	20.555	97.000	10.194	94.010	5.094	15.900
10.211	105.210	20.586	97.000	10.211	93.710	5.102	15.860
10.227	105.340	20.621	97.000	10.228	93.280	5.111	15.870
10.244	105.620	20.653	97.000	10.244	92.650	5.119	15.710
10.261	105.760	20.688	98.000	10.261	91.850	5.128	15.640
10.277	105.790	20.721	99.000	10.278	91.220	5.136	15.590
10.294	106.090	20.754	100.000	10.294	90.410	5.144	15.410
10.311	106.370	20.787	101.000	10.311	86.990	5.152	15.470
10.327	106.260	20.821	101.000	10.328	53.380	5.161	15.420
10.344	106.310	20.856	102.000	10.344	49.270	5.169	15.240
10.361	106.570	20.886	103.000	10.361	47.530	5.178	15.250
10.377	106.710	20.923	104.000	10.378	46.560	5.186	15.090
10.394	106.900	20.954	105.000	10.394	45.730	5.194	14.790
10.411	107.020	20.988	105.000	10.411	45.320	5.202	14.320
10.427	107.290	21.020	106.000	10.428	44.510		
10.444	107.540	21.053	106.000	10.445	43.990		
10.461	107.640	21.088	107.000	10.461	43.470		
10.477	107.930	21.120	108.000	10.478	42.810		
10.494	108.380	21.155	108.000	10.494	42.110		
10.511	108.470	21.187	109.000	10.511	41.830		
10.528	108.730	21.221	110.000	10.528	41.430		
10.544	109.040	21.255	111.000	10.544	41.750		
10.561	109.280	21.288	112.000	10.561	40.930		
10.578	109.710	21.323	112.000	10.578	40.040		
10.594	110.060	21.354	113.000	10.594	39.070		
10.611	110.390	21.389	115.000	10.611	38.420		
10.627	110.610	21.421	115.000	10.628	37.660		
10.644	110.720	21.455	116.000	10.644	37.240		
10.661	106.950	21.487	116.000	10.661	36.790		
10.677	105.320	21.520	116.000	10.678	36.540		
10.694	97.200	21.554	117.000	10.694	35.420		

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

10.711	96.840	21.586	117.000	10.711	34.990
10.727	96.830	21.621	118.000	10.728	34.290
10.744	96.640	21.653	118.000	10.744	33.850
10.761	96.580	21.687	119.000	10.761	33.440
10.777	97.040	21.721	119.000	10.778	32.900
10.794	97.130	21.753	119.000	10.794	32.630
10.811	97.410	21.787	119.000	10.811	32.310
10.827	97.800	21.821	119.000	10.828	32.360
10.844	98.010	21.854	120.000	10.845	32.190
10.861	98.290	21.886	120.000	10.861	32.180
10.877	98.710	21.920	120.000	10.878	32.010
10.894	99.070	21.954	120.000	10.894	31.940
10.911	99.400	21.985	120.000	10.911	31.870
10.927	99.550	22.019	79.000	10.928	31.940
10.944	98.970	22.052	47.000	10.944	31.770
10.961	98.910	22.086	45.000	10.961	31.720
10.977	98.830	22.118	44.000	10.978	31.660
10.994	99.220	22.151	44.000	10.995	31.550
11.010	99.270	22.186	44.000	11.011	31.580
11.027	99.550	22.219	44.000	11.028	31.250
11.044	99.590	22.254	44.000	11.044	31.260
11.060	99.560	22.286	44.000	11.061	31.130
11.077	99.640	22.320	44.000	11.078	31.050
11.094	99.730	22.352	44.000	11.095	30.990
11.111	99.280	22.384	44.000	11.111	30.850
11.127	95.110	22.419	44.000	11.128	30.690
11.144	92.020	22.452	43.000	11.144	30.530
11.161	91.390	22.486	43.000	11.161	30.490
11.177	91.220	22.519	43.000	11.178	30.440
11.194	91.410	22.552	43.000	11.195	30.340
11.210	91.420	22.585	42.000	11.211	30.450
11.227	91.680	22.616	41.000	11.228	30.290
11.244	91.950	22.653	41.000	11.245	30.240
11.260	91.870	22.685	41.000	11.261	30.280
11.277	92.100	22.721	41.000	11.278	30.310
11.294	92.320	22.752	41.000	11.294	30.230
11.311	92.660	22.787	41.000	11.311	30.040
11.327	92.900	22.820	41.000	11.328	30.130
11.344	93.180	22.851	41.000	11.344	30.170
11.360	93.500	22.887	41.000	11.361	30.090
11.377	93.680	22.919	41.000	11.378	30.420
11.394	93.980	22.953	41.000	11.394	30.230
11.410	94.450	22.985	41.000	11.411	30.490
11.427	94.510	23.019	41.000	11.428	30.520
11.444	94.850	23.053	41.000	11.445	30.470
11.460	94.870	23.084	41.000	11.461	30.420
11.477	95.010	23.120	41.000	11.478	30.600
11.493	95.160	23.153	41.000	11.495	30.610
11.510	95.080	23.187	41.000	11.511	30.560
11.527	95.320	23.220	41.000	11.528	30.750
11.544	95.360	23.254	40.000	11.545	30.790
11.561	95.580	23.286	40.000	11.561	30.780
11.577	95.500	23.319	40.000	11.578	30.710
11.594	95.410	23.354	39.000	11.595	30.720
11.610	95.270	23.386	38.000	11.611	30.780
11.627	94.400	23.421	38.000	11.628	30.880
11.644	93.580	23.452	38.000	11.645	30.810
11.661	92.930	23.486	38.000	11.661	30.630

11.677	93.050	23.520	38.000	11.678	30.770
11.694	92.720	23.551	38.000	11.694	30.730
11.711	90.920	23.586	38.000	11.711	30.810
11.727	89.990	23.619	38.000	11.728	30.780
11.744	88.690	23.653	38.000	11.744	30.800
11.760	87.390	23.687	38.000	11.761	30.720
11.777	85.450	23.719	38.000	11.778	30.880
11.794	82.510	23.754	38.000	11.794	30.930
11.810	81.530	23.786	38.000	11.811	30.960
11.827	80.770	23.820	38.000	11.828	30.790
11.844	79.880	23.852	37.000	11.845	30.910
11.860	79.750	23.886	37.000	11.861	30.690
11.877	79.450	23.919	36.000	11.878	30.930
11.894	79.450	23.951	36.000	11.895	31.020
11.910	79.500	23.985	36.000	11.911	30.890
11.927	79.240	24.018	36.000	11.928	31.070
11.944	79.160	24.052	35.000	11.945	31.150
11.961	78.490	24.086	35.000	11.961	31.110
11.977	78.410	24.118	34.000	11.978	31.040
11.994	78.560	24.152	34.000	11.995	31.080
12.010	78.320	24.185	34.000	12.011	31.180
12.027	78.440	24.220	34.000	12.028	31.100
12.044	78.510	24.251	34.000	12.045	31.190
12.060	78.480	24.286	34.000	12.061	31.130
12.077	78.430	24.319	34.000	12.078	31.320
12.094	78.530	24.352	34.000	12.095	31.390
12.110	77.430	24.386	34.000	12.111	31.440
12.127	73.090	24.417	34.000	12.128	31.370
12.144	71.780	24.452	34.000	12.144	31.470
12.160	71.220	24.483	34.000	12.161	31.740
12.177	70.780	24.519	33.000	12.178	31.710
12.194	70.460	24.551	33.000	12.194	31.760
12.211	69.760	24.585	33.000	12.211	31.870
12.227	69.360	24.619	32.000	12.228	31.770
12.244	68.830	24.650	32.000	12.244	31.630
12.261	68.640	24.687	32.000	12.261	31.840
12.277	68.140	24.718	32.000	12.278	31.970
12.294	67.910	24.753	32.000	12.294	31.950
12.310	67.370	24.785	32.000	12.311	31.850
12.327	67.360	24.818	32.000	12.328	32.030
12.344	66.940	24.852	31.000	12.344	31.940
12.361	66.850	24.884	31.000	12.361	32.110
12.377	66.810	24.919	31.000	12.378	32.130
12.394	66.770	24.951	31.000	12.395	32.280
12.410	66.700	24.985	31.000	12.411	32.250
12.427	66.550	25.017	31.000	12.428	32.500
12.444	66.370	25.051	30.000	12.444	32.510
12.461	66.460	25.086	30.000	12.461	32.600
12.477	66.340	25.118	30.000	12.478	32.770
12.494	66.380	25.153	29.000	12.494	32.740
12.511	66.400	25.186	29.000	12.511	32.970
12.527	66.150	25.220	28.000	12.528	33.070
12.544	66.120	25.251	28.000	12.545	33.080
12.560	66.020	25.285	27.000	12.561	33.200
12.577	66.000	25.319	27.000	12.578	33.330
12.594	64.430	25.352	27.000	12.595	33.520
12.610	63.860	25.386	27.000	12.611	33.770
12.627	63.620	25.419	26.000	12.628	33.750
12.644	63.490	25.451	26.000	12.645	33.740

Παράρτημα Α | Πρωτογενή Δεδομένα

12.660	63.130	25.485	26.000	12.661	33.860
12.677	63.010	25.519	26.000	12.678	34.030
12.694	62.950	25.552	26.000	12.695	33.980
12.711	62.750	25.585	26.000	12.711	33.910
12.727	62.920	25.618	26.000	12.728	34.070
12.744	62.420	25.652	26.000	12.744	34.090
12.761	62.220	25.685	26.000	12.761	34.130
12.777	61.970	25.719	26.000	12.778	34.210
12.794	61.770	25.751	25.000	12.795	34.230
12.810	61.380	25.786	25.000	12.811	34.220
12.827	60.520	25.817	25.000	12.828	34.330
12.844	59.490	25.851	25.000	12.845	34.390
12.860	59.040	25.885	25.000	12.861	34.300
12.877	58.460	25.918	25.000	12.878	34.400
12.894	58.210	25.951	24.000	12.894	34.360
12.911	57.850	25.983	24.000	12.911	34.320
12.927	57.700	26.018	24.000	12.928	34.250
12.944	57.550	26.051	24.000	12.944	34.500
12.961	57.250	26.084	24.000	12.961	34.530
12.977	57.150	26.117	24.000	12.978	34.540
12.994	56.950			12.994	34.620
13.011	56.790			13.011	34.660
13.027	56.830			13.028	34.700
13.044	56.540			13.045	34.770
13.061	56.370			13.061	35.050
13.077	56.350			13.078	34.890
13.094	56.360			13.095	35.250
13.111	56.160			13.111	35.150
13.127	55.990			13.128	35.290
13.144	55.970			13.144	35.370
13.161	55.860			13.161	35.580
13.177	55.930			13.178	35.670
13.194	55.810			13.194	35.840
13.211	55.920			13.211	35.750
13.227	55.890			13.228	35.840
13.244	55.660			13.245	36.030
13.261	55.640			13.261	36.140
13.277	55.630			13.278	36.090
13.294	55.520			13.294	36.300
13.311	55.640			13.311	36.420
13.327	55.570			13.328	36.440
13.344	55.220			13.344	36.500
13.361	55.360			13.361	36.510
13.377	55.280			13.378	36.550
13.394	54.860			13.394	36.690
13.411	54.890			13.411	36.600
13.427	54.600			13.428	36.770
13.444	54.510			13.444	36.610
13.461	54.470			13.461	36.680
13.477	54.250			13.478	36.700
13.494	53.780			13.494	36.830
13.511	53.630			13.511	36.730
13.528	53.490			13.528	36.750
13.544	53.170			13.544	36.690
13.561	53.090			13.561	36.710
13.577	52.950			13.578	36.710
13.594	53.040			13.594	36.640
13.611	52.810			13.611	36.610

13.627	52.860
13.644	52.650
13.661	52.570
13.677	52.320
13.694	52.320
13.711	52.110
13.727	52.020
13.744	51.690
13.761	51.590
13.777	51.350
13.794	51.100
13.811	50.880
13.827	50.770
13.844	50.610
13.861	50.620
13.877	50.290
13.894	50.100
13.911	49.870
13.927	49.680
13.944	49.440
13.961	49.070
13.977	48.840
13.994	48.660
14.011	48.360
14.028	48.240
14.044	48.120
14.061	47.910
14.078	47.780
14.094	47.740
14.111	47.620
14.128	47.490
14.144	47.490
14.161	47.410
14.177	47.060
14.194	47.090
14.211	46.970
14.227	46.690
14.244	46.540
14.261	46.530
14.277	46.530
14.294	46.290
14.311	46.160
14.328	46.040
14.344	46.060
14.361	45.760
14.377	45.630
14.394	45.510
14.411	45.340
14.427	45.330
14.444	45.160
14.461	45.240
14.477	45.140
14.494	45.250
14.511	44.980
14.527	44.870
14.544	44.630
14.561	44.690
14.577	44.660
14.594	44.460

13.628	36.620
13.644	36.700
13.661	36.590
13.678	36.520
13.694	36.610
13.711	36.570
13.727	36.570
13.744	36.750
13.761	36.650
13.777	36.770
13.794	36.640
13.811	36.420
13.827	36.360
13.844	35.830
13.861	35.660
13.878	35.380
13.894	35.270
13.911	35.170
13.928	34.940
13.944	34.920
13.961	34.660
13.978	34.490
13.994	34.480
14.011	34.450
14.028	34.250
14.044	33.660
14.061	33.540
14.077	33.240
14.094	30.550
14.103	28.460

14.611	44.350
14.628	44.400
14.644	44.400
14.661	44.130
14.678	44.010
14.694	44.160
14.711	44.030
14.728	43.830
14.744	43.860
14.761	43.900
14.778	43.930
14.794	43.690
14.811	43.550
14.827	43.460
14.844	43.070
14.861	42.770
14.878	42.040
14.894	41.380
14.911	40.920
14.928	40.650
14.944	40.220
14.961	40.240
14.977	39.720
14.994	39.470
15.011	39.420
15.027	39.140
15.044	39.060
15.061	38.990
15.077	38.770
15.094	38.710
15.111	38.360
15.127	38.270
15.144	37.940
15.161	37.570
15.177	37.370
15.194	37.110
15.211	36.720
15.227	36.730
15.244	36.400
15.261	36.230
15.277	36.160
15.294	35.910
15.311	35.660
15.328	35.500
15.344	35.360
15.361	35.330
15.377	35.170
15.394	35.090
15.411	34.970
15.427	34.730
15.444	34.630
15.461	34.690
15.476	34.340

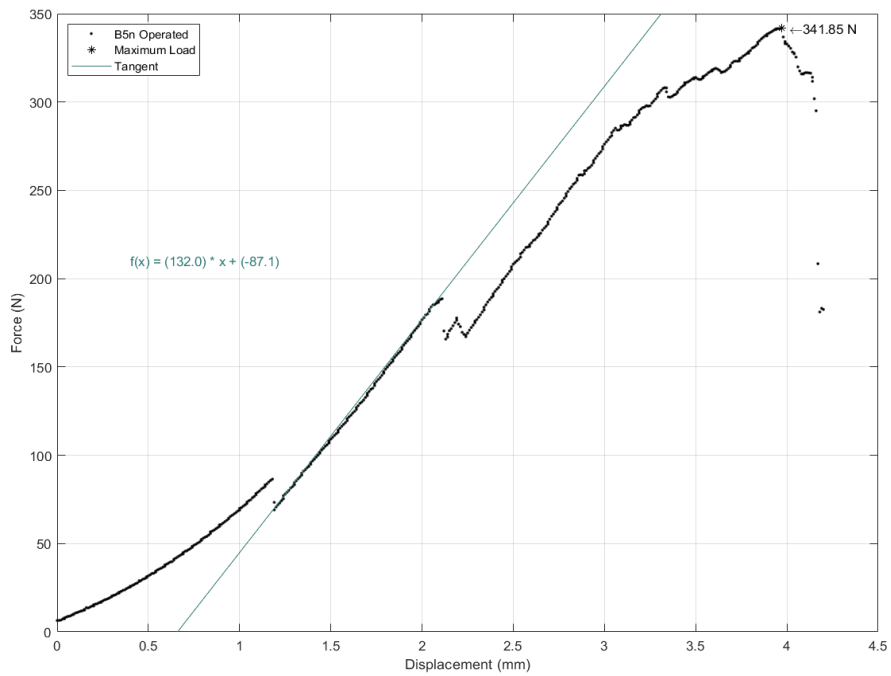
Γραφήματα Δεδομένων

Στο Παράρτημα αυτό παρατίθενται τα επιμέρους γραφήματα όλων των πειραμάτων τα οποία προέκυψαν από γραφική αναπαράσταση του συνόλου των δεδομένων του κάθε πειράματος.

Επίσης, εμφανίζονται συνοπτικά, χαρακτηριστικά δεδομένα κάθε δείγματος όπως η ημερομηνία διεξαγωγής του πειράματος εφελκυσμού, το εμβαδόν διατομής του καθαρού τένοντα, όπως αυτό μετρήθηκε με χρήση παχύμετρου, για να γίνει αναγωγή σε τάση, τα κιλά του κάθε κόνικλου την ημερομηνία του πειράματος, καθώς και η εξίσωση της ευθείας στη γραμμική περιοχή. Τέλος, αναγράφεται η μέγιστη φόρτιση σε N και η μέγιστη τάση σε MPa που ασκήθηκε στο κάθε δοκίμιο προτού αυτό καταρρεύσει.

Δείγμα: B5 – non operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 08-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.098 sqmm
- Κιλά κονίλιου: 4.50 kg



Δείγμα B5-non : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 132x - 87.1$

Μέγιστη Φόρτιση [N]

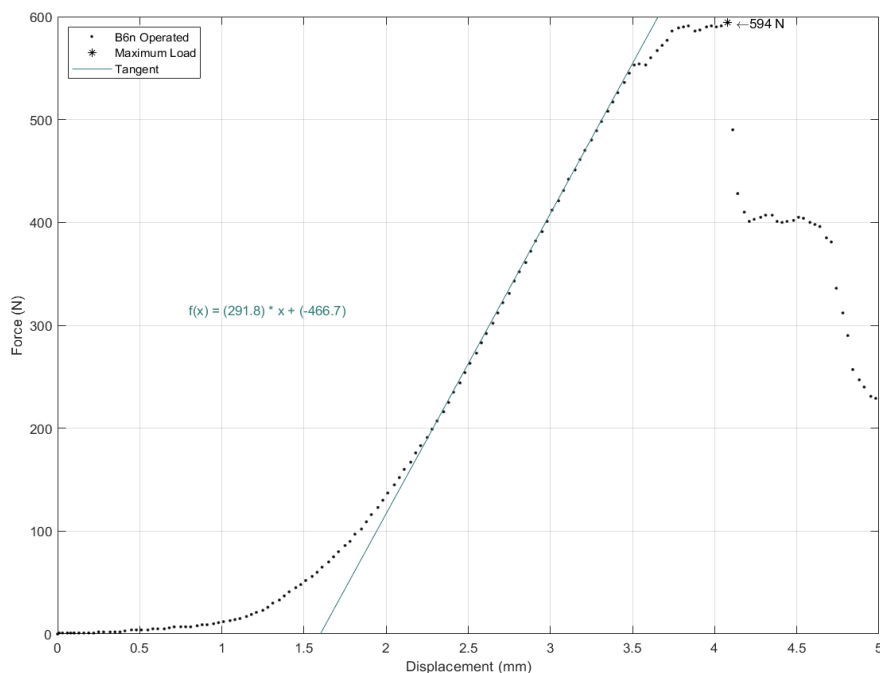
Μέγιστη Τάση [MPa]

341.85

3506.15

Δείγμα: B6 – non operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 17-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.161 sqmm
- Κιλά κονίλιου: 5.20 kg



Δείγμα B6-non : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 291.8x - 466.7$

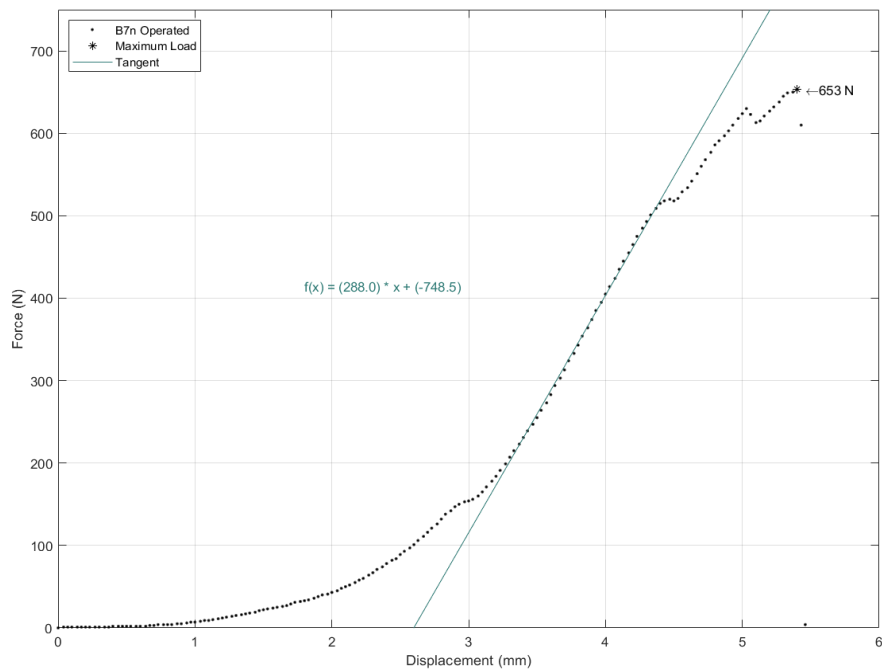
Μέγιστη Φόρτιση [N]

Μέγιστη Τάση [MPa]

594.00	3684.86
--------	---------

Δείγμα: B7 – non operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 17-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.186 sqmm
- Κιλά κονίλιου: 4.28 kg



Δείγμα B7-non : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 288.0x - 748.5$

Μέγιστη Φόρτιση [N]

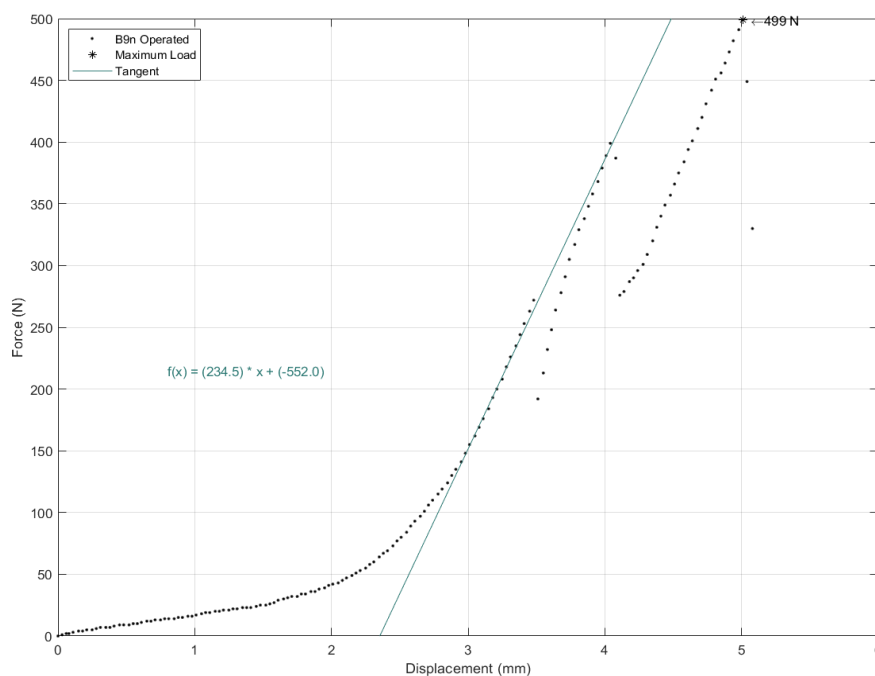
Μέγιστη Τάση [MPa]

341.85

3506.15

Δείγμα: B9 – non operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 17-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.203 sqmm



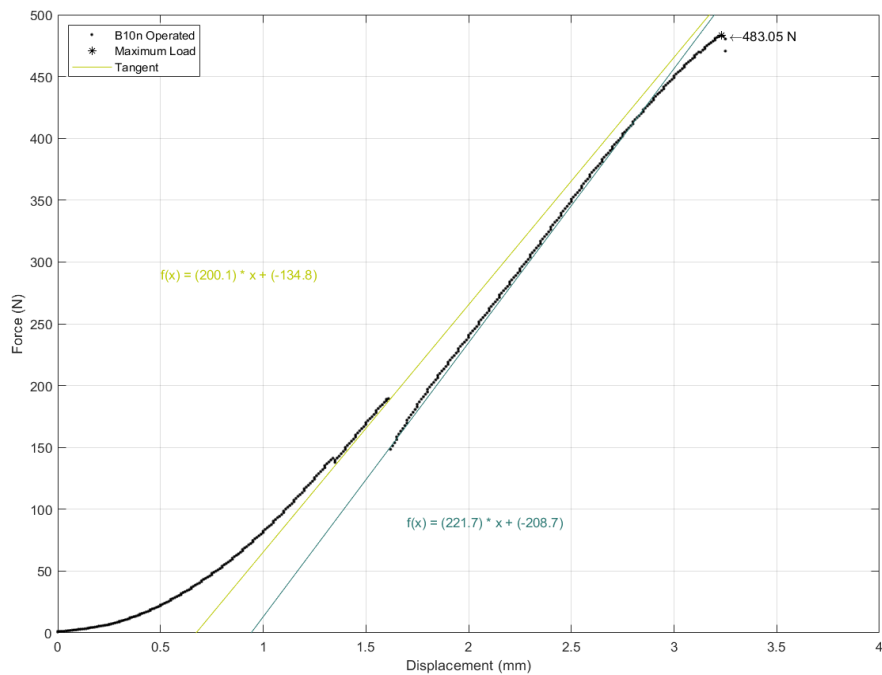
Δείγμα B9-non : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 234.5x - 552.0$

Μέγιστη Φόρτιση [N]	Μέγιστη Τάση [MPa]
500.00	2463.05

Δείγμα: B10 – non operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 06-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.248 sqmm



Δείγμα B10-non : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 200.1x - 134.8$ | $f(x) = 221.7x - 208.7$

Μέγιστη Φόρτιση [N]

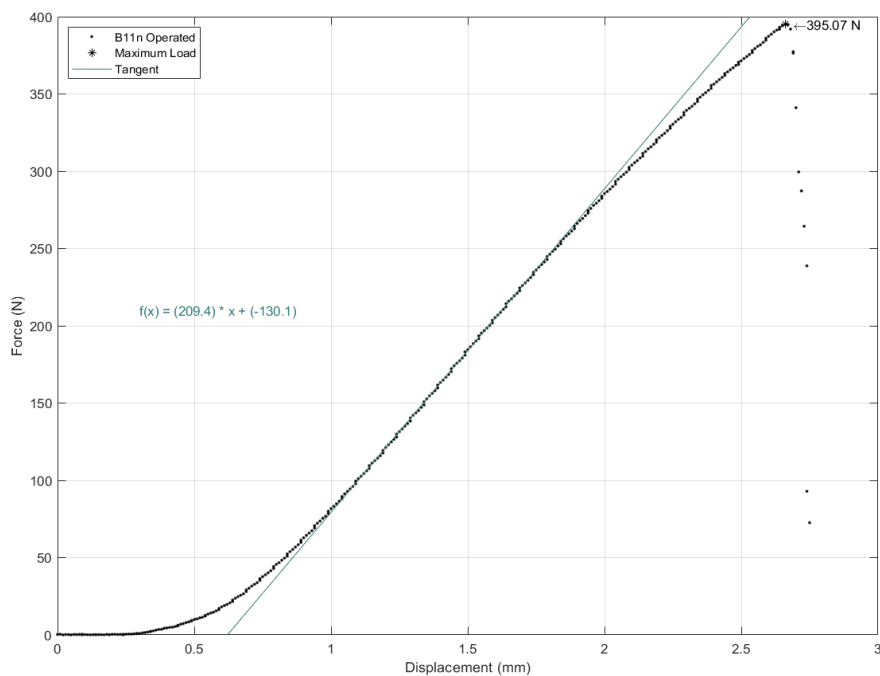
Μέγιστη Τάση [MPa]

483.05

1951.72

Δείγμα: B11 – non operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 08-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.130 sqmm



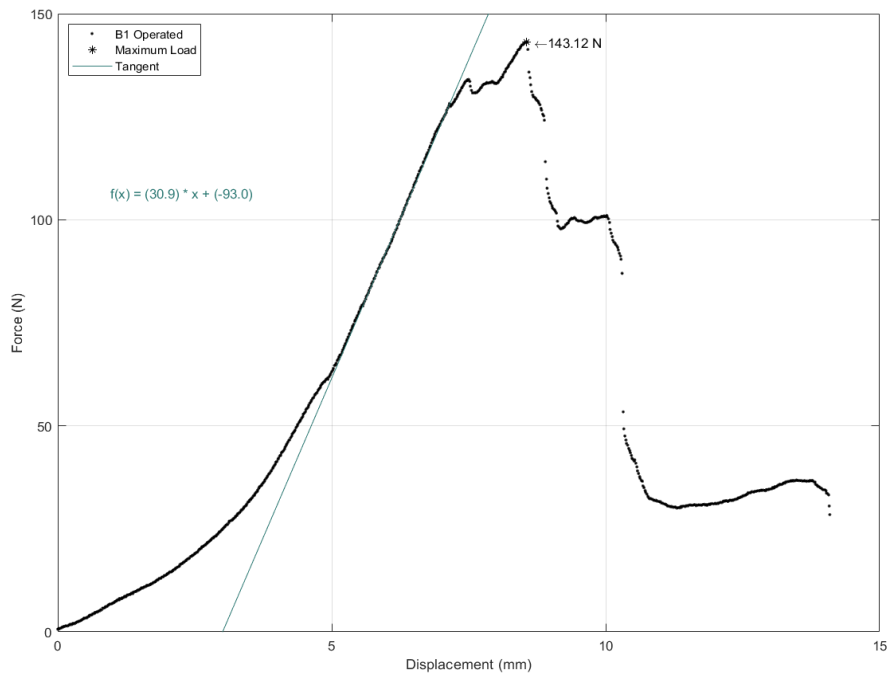
Δείγμα B11-non : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 209.4x - 130.1$

Μέγιστη Φόρτιση [N]	Μέγιστη Τάση [MPa]
395.00	3039.00

Δείγμα: B1 – operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 08-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.163 sqmm



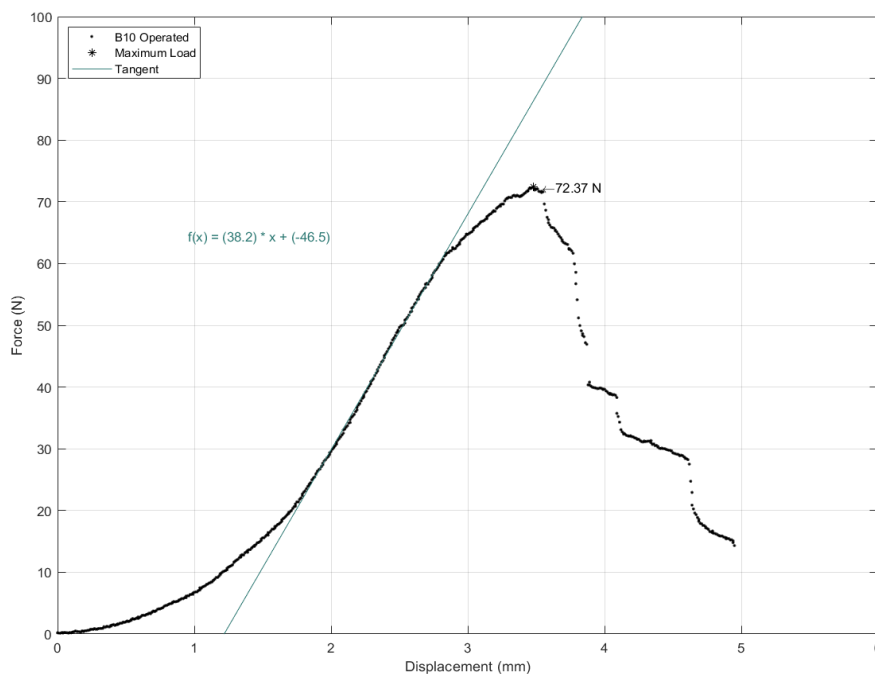
Δείγμα B1-op : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 30.9x - 93.0$

Μέγιστη Φόρτιση [N]	Μέγιστη Τάση [MPa]
143.12	880.74

Δείγμα: B10 – operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 08-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.260 sqmm



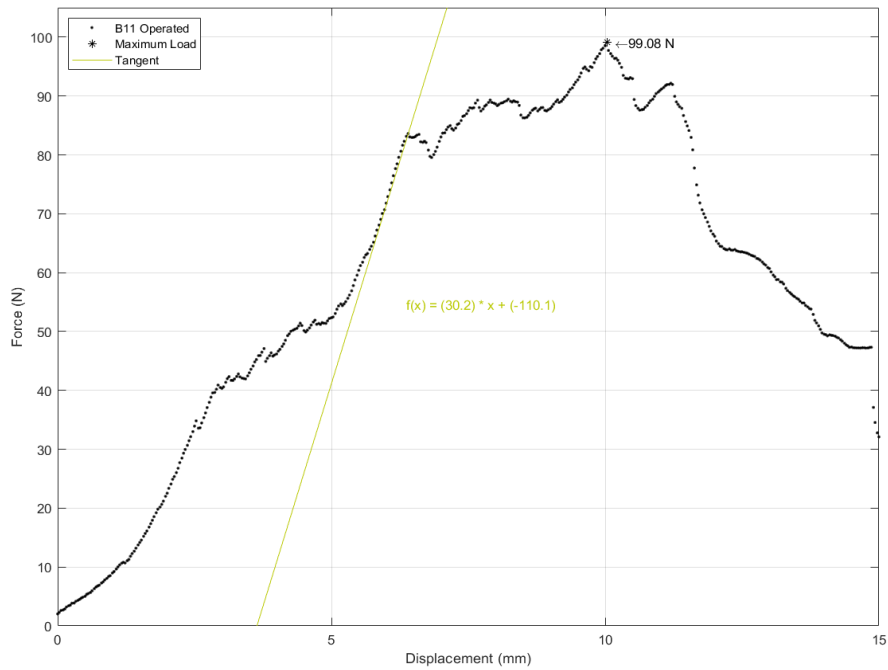
Δείγμα B10-op : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 38.2x - 46.5$

Μέγιστη Φόρτιση [N]	Μέγιστη Τάση [MPa]
72.37	278.35

Δείγμα: B11 – operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 08-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.288 sqmm



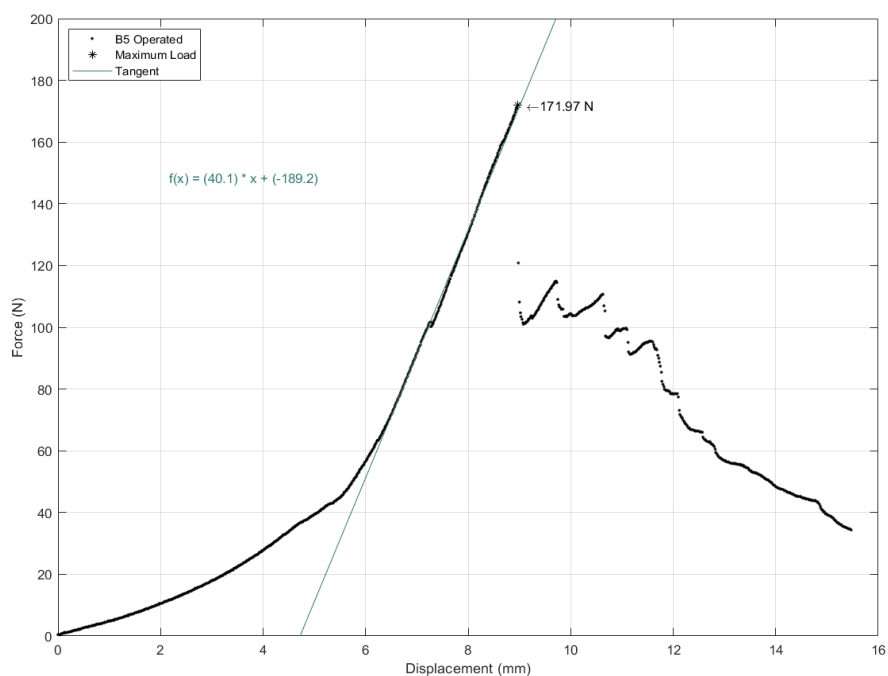
Δείγμα B11-op : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 30.2x - 110.1$

Μέγιστη Φόρτιση [N]	Μέγιστη Τάση [MPa]
99.08	344.03

Δείγμα: B5 – operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 08-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.122 sqmm



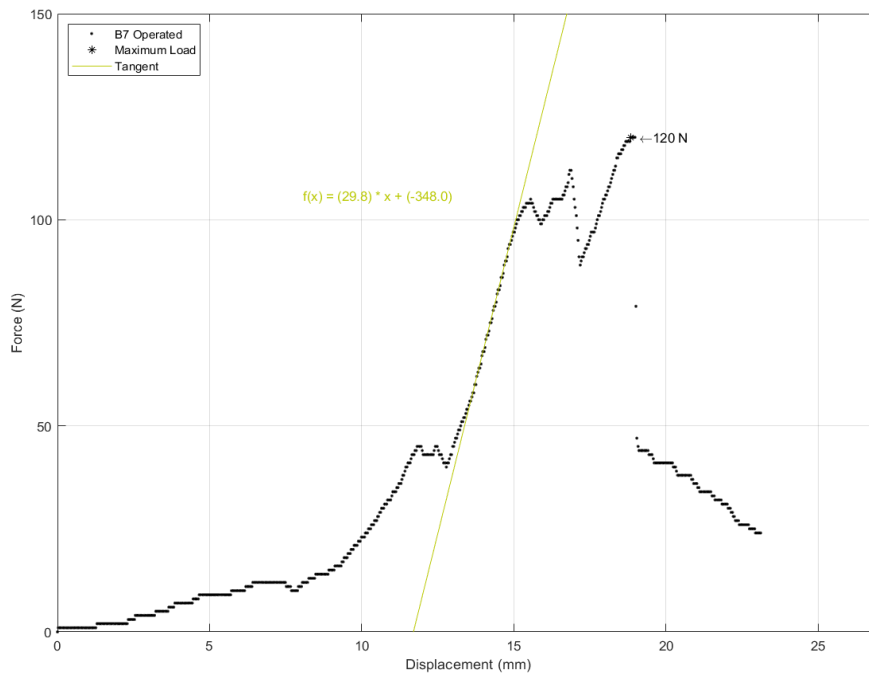
Δείγμα B5-op : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 40.1x - 189.2$

Μέγιστη Φόρτιση [N]	Μέγιστη Τάση [MPa]
171.97	1411.90

Δείγμα: B7 – operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 17-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.092 sqmm



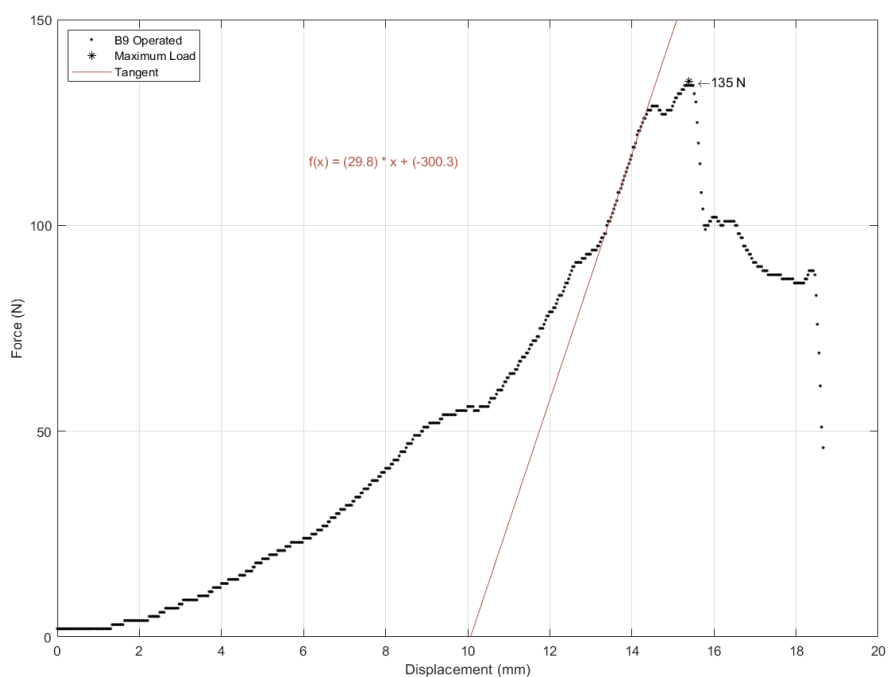
Δείγμα B7-op : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 29.8x - 348.0$

Μέγιστη Φόρτιση [N]	Μέγιστη Τάση [MPa]
120.00	1304.35

Δείγμα: B9 – operated

- Ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος: 17-Dec-22
- Εμβαδόν διατομής καθαρού τένοντα: 0.103 sqmm



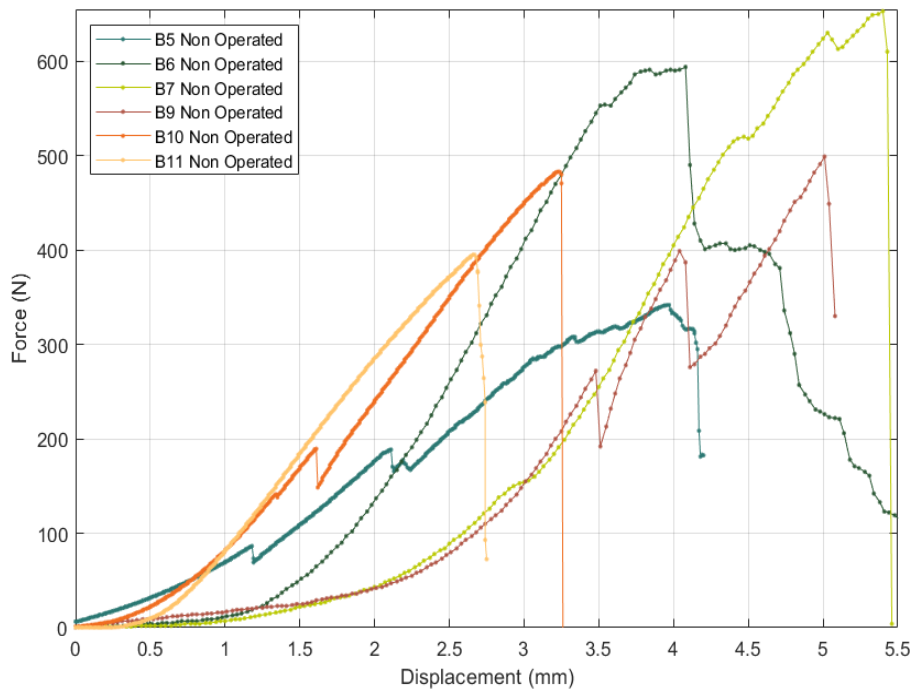
Δείγμα B9-op : Γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

- Ευθεία γραμμικής περιοχής: $f(x) = 29.8x - 300.3$

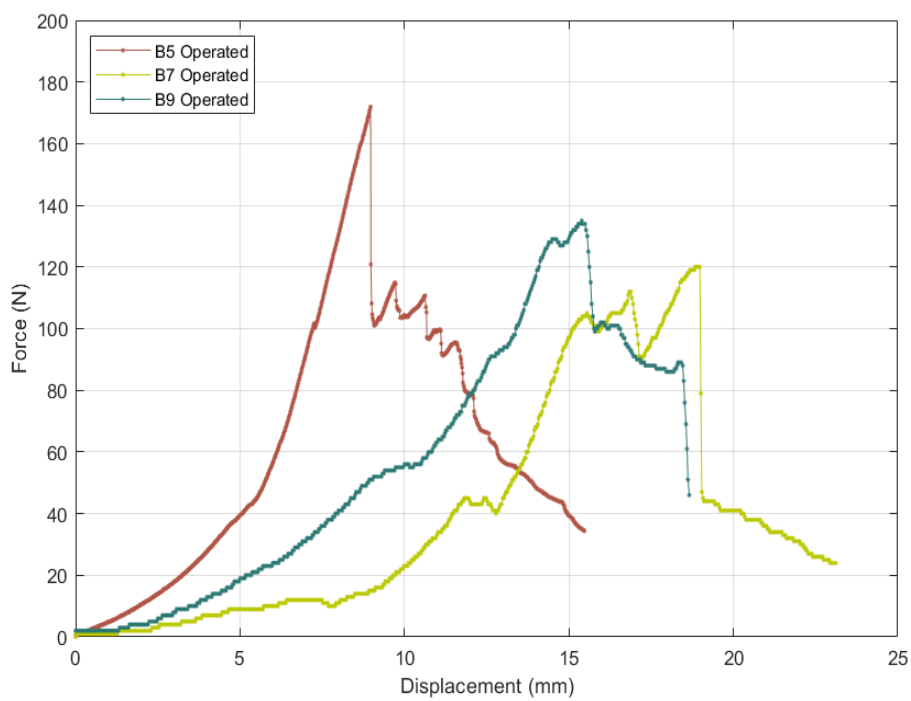
Μέγιστη Φόρτιση [N]	Μέγιστη Τάση [MPa]
140.00	1360.54

Συγκριτικά Διαγράμματα

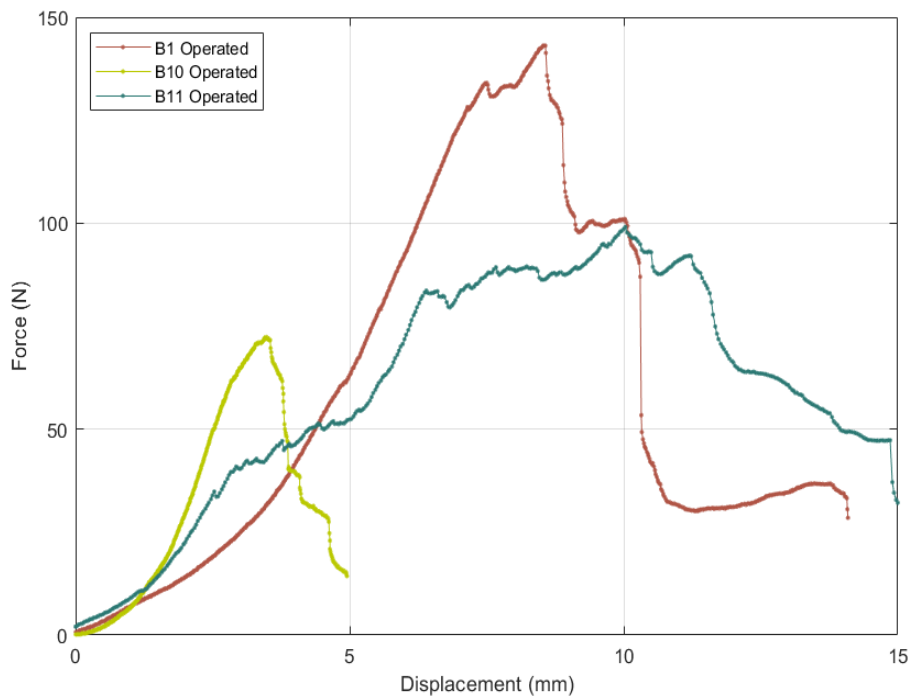
Παρακάτω παρατίθενται συγκριτικά διαγράμματα Δύναμης – Επιμήκυνσης σε κοινούς άξονες ανά ομάδα δειγμάτων, ομάδα 0 (ελέγχου) | μη χειρουργημένα δοκίμια , ομάδα 1 | TFL , ομάδα 2 | MSC .



Non operated samples: Συγκριτικό γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

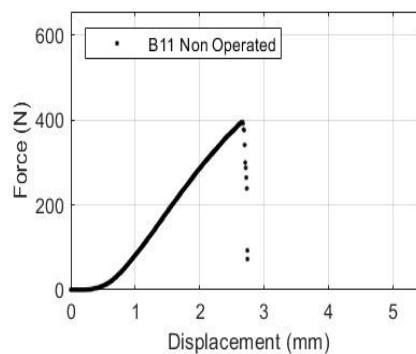
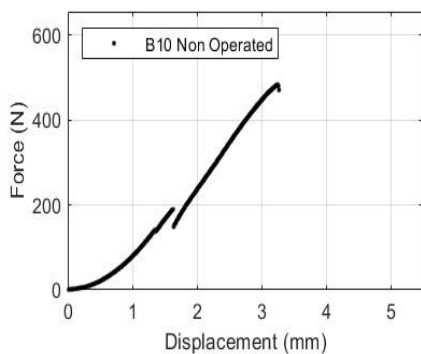
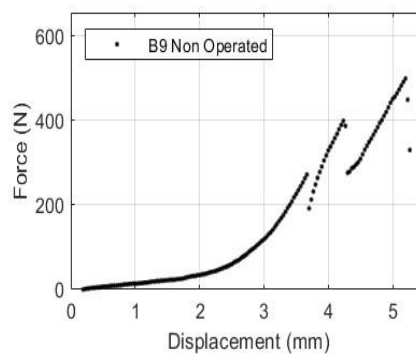
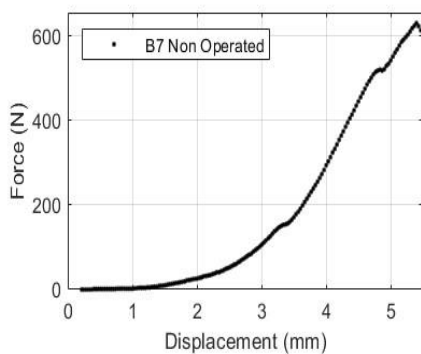
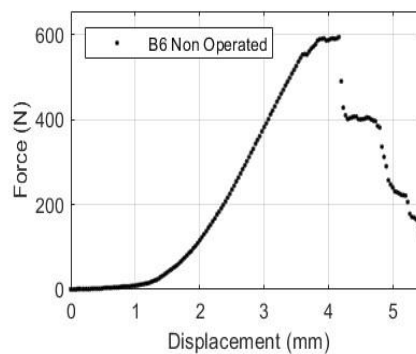
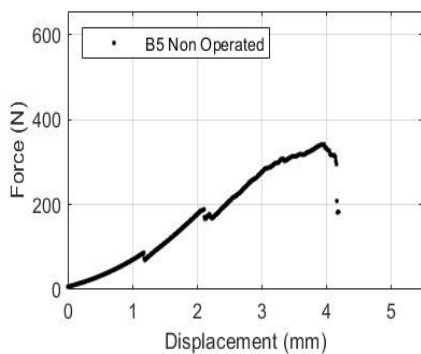


MSC operated samples: Συγκριτικό γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

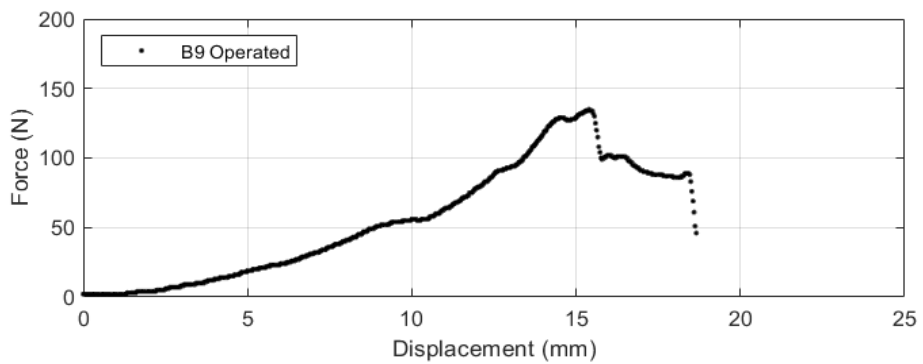
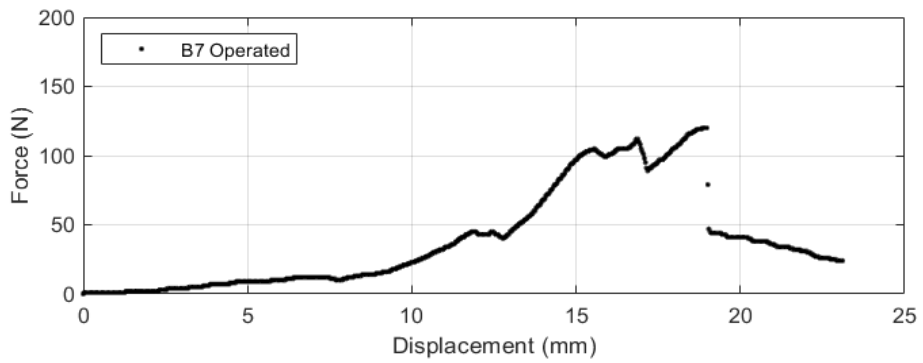
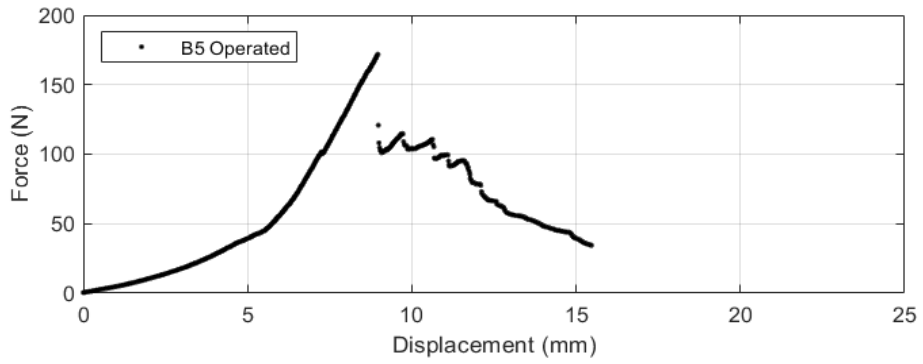


TFL operated samples: Συγκριτικό γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

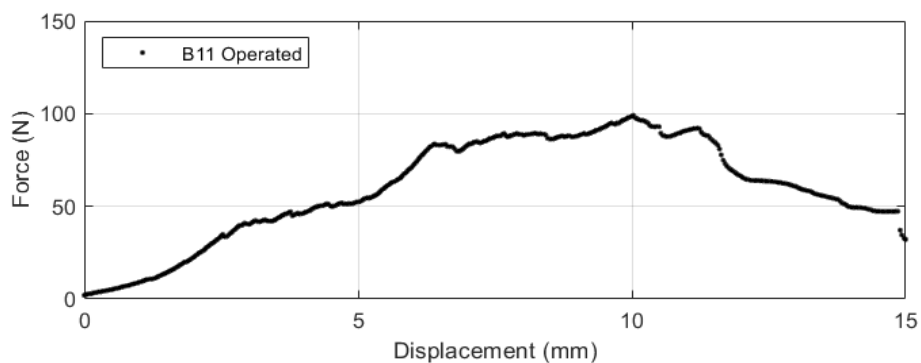
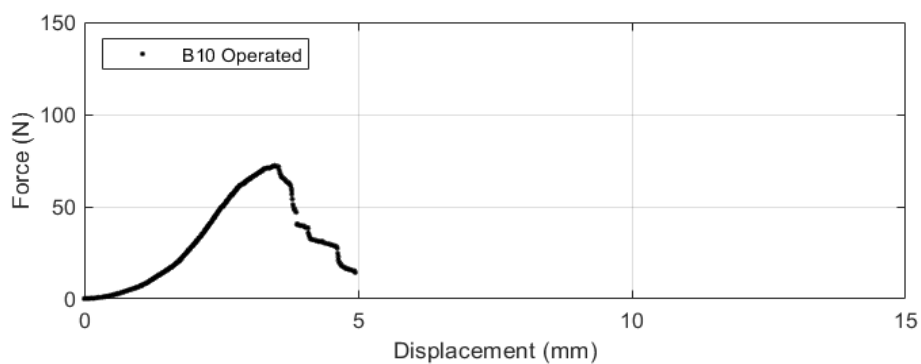
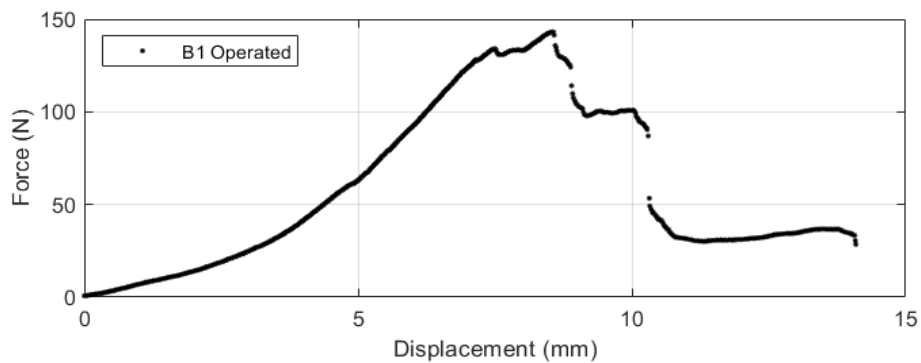
Στη συνέχεια βλέπουμε μία διαφορετική συγκριτική απεικόνιση της συμπεριφοράς των δειγμάτων ανά ομάδα.



Non operated samples: Συγκριτικό γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης



MSC operated samples: Συγκριτικό γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης



TFL operated samples: Συγκριτικό γράφημα Δύναμης - Επιμήκυνσης

Παράρτημα Γ | Κώδικας

Κώδικας

Ενδεικτικά παρατίθεται ο κώδικας σε MATLAB που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των γραφημάτων και την υλοποίηση της εργασίας.

Bar Plots

Create a Table

Create a table with the different attributes of each sample. Store the patient data from Names, ID, Status, Method, Test, Operation, TearDate, OperationDate, ExtractionDate, TestDate, Tendon, Weight, MaxLoad, MaxStress in a table. Use the unique identifiers in the variable Samples as row names.

```
T = table(Names,ID, Status, Method, Test, Operation, TearDate,  
OperationDate, ExtractionDate, TestDate, Tendonsqmm, Weightkg,  
MaxLoadN, MaxStressMPa, 'RowNames',Samples)
```

Print a Summary

View the data type, description, units, and other descriptive statistics for each variable by using `summary` to summarize the table.

```
format compact  
summary(T)
```

```

figure( 'Name', 'Operated with TFL Method_bar' )
bar(T3.MaxLoadN,'FaceAlpha',1.0,...
    'FaceColor',[0.184313725490196 0.509803921568627
0.427450980392157])
xticklabels(T3.Names);
title("Max Load (N) of samples operated TFL Method")
grid on

```

Select Data Based on Categories | Operated

Create a subtable, T4, containing the names, maximum stress, and maximum load of all samples that were operated and were used for a biomechanical experiment. We define the subset of variables and use parentheses to create the subtable, T4.

```

rows = T.Method=='FL' | T.Method=='MSC' & T.Status=='Experiment' &
T.Test=='Biomechanics';
vars = ["Names", "MaxStressMPa", "MaxLoadN"];
T4 = T(rows,vars)

```

Create a bar plot based on the experimental data | TFL

Create a bar plot that shows the maximum load until failure; rupture of the tendon; that can handle each sample, from the group that was operated.

```

figure( 'Name', 'Operated_bar' )
bar(T4.MaxLoadN,'FaceAlpha',1.0,...
    'FaceColor',[0.184313725490196 0.509803921568627
0.427450980392157])
xticklabels(T4.Names);
title("Max Load (N) of all operated samples ")
grid on

```

Single sample plots

Plot the force vs. displacement graph of each sample on a different figure and from the slope of the Linear Region, calculate the stiffness of each sample. The maximum point of each graph corresponds to the failure force F_f and failure displacement L_f .

```
%% 'Operated with MSC Method'  
%% B5 Operated  
figure( 'Name', 'B5 Operated' )  
% Plot data  
h = plot(B5o_Displacementmm, B5o_LoadN, 'k.' );  
hold on  
% Plot maximum point  
[y_max, index] = max(B5o_LoadN);  
x_max = B5o_Displacementmm(index);  
plot( x_max, y_max, 'k*')  
text(x_max, y_max,[' \leftarrow', num2str(y_max), ' N'])  
% Plot tangent  
x=0:.1:20;
```


Clear previous workspace and command window and set colors.

Do not forget to load sample data gathered from all experiments!

```
% Import data: Samples_info
% Import data: Gathered_data
%For each sample we will have the following initial data
% B{i}o_Displacementmm
% B{i}o_LoadN
% B{i}o_Majormm
% B{i}o_Minormm

%Colors
Ocean = [0.17 0.47 0.45];
Ash = [0.16 0.34 0.20];
Olive = [0.73 0.79 0.00];
Berry = [0.69 0.33 0.27];
Orange = [0.94 0.43 0.13];
Canary = [1.00 0.77 0.42];
River = [0.18 0.51 0.43];
```

Single Sample Plots

Operated Samples | MSC

Plot the force vs. displacement graph of each sample on a different figure and from the slope of the Linear Region, calculate the stiffness of each sample.

The maximum point of each graph corresponds to the failure force F_f and failure displacement L_f .

```
%% 'Operated with MSC Method'
% B5 Operated
figure( 'Name', 'B5 Operated' )

% Plot data
h = plot(B5o_Displacementmm, B5o_LoadN, 'k.' );
hold on
% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B5o_LoadN);
x_max          = B5o_Displacementmm(index);
plot( x_max, y_max, 'k*' )
text( x_max, y_max, [ ' \leftarrow', num2str(y_max), ' N' ] )
% Plot tangent
x = 0:.1:20;
p = [40.07 -189.2]; % polynomial function
s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
plot(x, polyval(p,x), 'Color', Ocean)
text(2.1712, 148.5046, s, 'Color', Ocean)
% Legend
legend( 'B5 Operated', 'Maximum Load', 'Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
xlim([0 16])
ylim([0 200])
grid on
hold off
```

```

Stiffness_B5o = [p(1)];
% B7 Operated
figure( 'Name', 'B7 Operated' )

% Plot data
h = plot(B7o_Displacementmm, B7o_LoadN, 'k.' );
hold on
% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B7o_LoadN);
x_max          = B7o_Displacementmm(index);
plot( x_max, y_max, 'k*')
text( x_max, y_max, [ ' \leftarrow', num2str(y_max), ' N' ] )

% Plot tangent
% x = 0:.1:30;
% p = [16.38 -197.6]; % polynomial function
% s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
% plot(x,      polyval(p,x), 'Color', Ocean)
% text(4.1878, 56.0280,  s, 'Color', Ocean)

x = 0:.1:30;
l = [29.75 -348]; % polynomial function
z = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',l(1),l(2));
plot(x,      polyval(l,x), 'Color', Olive)
text(8.0662, 105.9813,  z, 'Color', Olive)
% Legend
legend( 'B7 Operated','Maximum Load','Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)',          'Interpreter', 'none' );
xlim([0 27])
ylim([0 150])
grid on
hold off

Stiffness_B7o = [l(1)];

```

```

% B9 Operated
figure( 'Name', 'B9 Operated' )

% Plot data
h = plot(B9o_Displacementmm, B9o_LoadN, 'k.' );
hold on
% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B9o_LoadN);
x_max          = B9o_Displacementmm(index);
plot( x_max, y_max, 'k*' )
text( x_max, y_max, [ ' \leftarrow', num2str(y_max), ' N' ] )

% Plot tangent
% x = 0:.1:30;
% p = [10.09 -39.9]; % polynomial function
% s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
% plot(x, polyval(p,x), 'Color', Ocean)
% text(0.8232, 44.8130, s, 'Color', Ocean)
% u = [16.64 -121.1]; % polynomial function
% z = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',u(1),u(2));
% plot(x, polyval(u,x), 'Color', Olive)
% text(3.9539, 81.0981, z, 'Color', Olive)

x = 0:.1:30;
g = [29.83 -300.3]; % polynomial function
d = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',g(1),g(2));
plot(x, polyval(g,x), 'Color', Berry)
text(6.1270, 115.6308, d, 'Color', Berry)
% Legend
legend( 'B9 Operated','Maximum Load','Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
xlim([0 20])
ylim([0 150])
grid on

```

```
hold off

Stiffness_B9o = [g(1)];
```

From the slope of the Linear Region, we calculate the stiffness of each sample, and the results are shown in the table created below.

```
Stiffness_MSC      = [Stiffness_B5o; Stiffness_B7o; Stiffness_B9o];
Stiffness_MSC_mean = mean(Stiffness_MSC);
Stiffness_MSC_std  = std(Stiffness_MSC);
Stiffness_MSC_median = median(Stiffness_MSC);
MSC_names          = ["B5 operated"; "B7 operated"; "B9 operated"];
Results_stif_MSC   = table(Stiffness_MSC, 'RowNames', MSC_names)
```

Operated Samples | TFL

Plot the force vs. displacement graph of each sample on a different figure and from the slope of the Linear Region, calculate the stiffness of each sample.

The maximum point of each graph corresponds to the failure force F_f and failure displacement L_f .

```
% 'Operated with TFL Method'
% B1 Operated
figure( 'Name', 'B1 Operated' )

% Plot data
h = plot(B1o_Displacementmm, B1o_LoadN, 'k.' );
hold on
% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B1o_LoadN);
x_max          = B1o_Displacementmm(index);
plot( x_max,   y_max, 'k*')
text( x_max,   y_max, [ ' \leftarrow', num2str(y_max), ' N'])
% Plot tangent
x = 0:.1:17;
p = [30.91 -92.99]; % polynomial function
s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)', p(1), p(2));
plot(x,       polyval(p,x), 'Color', Ocean)
text(0.9558, 106.4018, s, 'Color', Ocean)
```

```

% Legend
legend( 'B1 Operated','Maximum Load','Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
xlim([0 15])
ylim([0 150])
grid on
hold off
Stiffness_B1o =[p(1)];

% B10 Operated
figure( 'Name', 'B10 Operated' )

% Plot data
h = plot(B10o_Displacementmm, B10o_LoadN,'k.' );
hold on
% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B10o_LoadN);
x_max = B10o_Displacementmm(index);
plot( x_max, y_max, 'k*')
text( x_max, y_max, [' \leftarrow', num2str(y_max), ' N'])
% Plot tangent
x = 0:.1:17;
p = [38.18 -46.52]; % polynomial function
s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
plot(x, polyval(p,x), 'Color', Ocean)
text(0.9558, 64.4018, s, 'Color', Ocean)
% Legend
legend( 'B10 Operated','Maximum Load','Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
xlim([0 6])
ylim([0 100])
grid on

```

```

hold off

Stiffness_B10o =[p(1)];

% B11 Operated
figure( 'Name', 'B11 Operated' )

% Plot data
h = plot(B11o_Displacementmm, B11o_LoadN, 'k.' );
hold on
% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B11o_LoadN);
x_max          = B11o_Displacementmm(index);
plot( x_max,   y_max, 'k*')
text( x_max,   y_max, [' \leftarrow', num2str(y_max), ' N'])

% Plot tangent
% x = 0:.1:17;
% p = [21.93 -21.86]; % polynomial function
% s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
% plot(x,      polyval(p,x), 'Color', Ocean)
% text(5.5580, 35.1985,  s, 'Color', Ocean)

x = 0:.1:17;
r = [30.25 -110.1]; % polynomial function
z = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',r(1),r(2));
plot(x,      polyval(r,x), 'Color', Olive)
text(6.3591, 54.6378,  z, 'Color', Olive)
% Legend
legend( 'B11 Operated', 'Maximum Load', 'Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)',        'Interpreter', 'none' );
xlim([0 15])
ylim([0 105])
grid on
hold off

```

```
Stiffness_B11o =[r(1)];
```

From the slope of the Linear Region, we calculate the stiffness of each sample, and the results are shown in the table created below.

```
Stiffness_TFL      = [Stiffness_B1o ; Stiffness_B10o ;  
Stiffness_B11o ];  
Stiffness_TFL_mean = mean(Stiffness_TFL);  
Stiffness_TFL_std  = std(Stiffness_TFL);  
Stiffness_TFL_median = median(Stiffness_TFL);  
TFL_names         = ["B1 operated"; "B10 operated"; "B11 operated"];  
Results_stif_TFL = table(Stiffness_TFL, 'RowNames', TFL_names)
```

Non Operated Samples

Plot the force vs. displacement graph of each sample on a different figure and from the slope of the Linear Region, calculate the stiffness of each sample.

The maximum point of each graph corresponds to the failure force F_f and failure displacement L_f .

```
%% 'Non Operated'  
% B5 Non Operated  
  
figure( 'Name', 'B5 Non Operated' )  
  
% Plot data  
h = plot(B5n_Displacementmm, B5n_LoadN, 'k.' );  
hold on  
% Plot maximum point  
[y_max, index] = max(B5n_LoadN);  
x_max          = B5n_Displacementmm(index);  
plot( x_max, y_max, 'k*')  
text( x_max, y_max, [ ' \leftarrow', num2str(y_max), ' N'] )  
% Plot tangent  
x = 0:.1:17;  
p = [132 -87.08]; % polynomial function
```



```

s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
plot(x, polyval(p,x), 'Color', Ocean)
text(0.4, 210, s, 'Color', Ocean)
% Legend
legend( 'B5n Operated','Maximum Load','Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
xlim([0 4.5])
ylim([0 350])
grid on
hold off

Stiffness_B5n =[p(1)];

% B6 Non Operated
figure( 'Name', 'B6 Non Operated' )

% Plot data
h = plot(B6n_Displacementmm, B6n_LoadN,'k.' );
hold on
% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B6n_LoadN);
x_max = B6n_Displacementmm(index);
plot( x_max, y_max, 'k*')
text( x_max, y_max, [ ' \leftarrow', num2str(y_max), ' N'] )
% Plot tangent
x = 0:.1:17;
p = [291.8 -466.7]; % polynomial function
s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
plot(x, polyval(p,x), 'Color', Ocean)
text(0.8, 315, s, 'Color', Ocean)
% Legend
legend( 'B6n Operated','Maximum Load','Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );

```

```

xlim([0 5])
ylim([0 600])
grid on
hold off

Stiffness_B6n =[p(1)];

% B7 Non Operated

figure( 'Name', 'B7 Non Operated' )

% Plot data
h = plot(B7n_Displacementmm, B7n_LoadN, 'k.' );

hold on

% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B7n_LoadN);
x_max          = B7n_Displacementmm(index);
plot( x_max,   y_max, 'k*')
text( x_max,   y_max, [' \leftarrow', num2str(y_max), ' N'])

% Plot tangent
x = 0:.1:17;
p = [288 -748.5]; % polynomial function
s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
plot(x,   polyval(p,x), 'Color', Ocean)
text(1.8, 415,          s, 'Color', Ocean)

% Legend
legend( 'B7n Operated', 'Maximum Load', 'Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)',          'Interpreter', 'none' );
xlim([0 6])
ylim([0 750])
grid on

```

```

hold off

Stiffness_B7n =[p(1)];

% B9 Non Operated

figure( 'Name', 'B9 Non Operated' )

% Plot data
h = plot(B9n_Displacementmm, B9n_LoadN, 'k.' );

hold on

% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B9n_LoadN);
x_max          = B9n_Displacementmm(index);
plot( x_max,   y_max, 'k*')
text( x_max,   y_max, [ ' \leftarrow', num2str(y_max), ' N'])

% Plot tangent
x = 0:.1:17;
p =[ 234.5 -552]; % polynomial function
s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
plot(x,   polyval(p,x), 'Color', Ocean)
text(0.8, 215,      s, 'Color', Ocean)

% Legend
legend( 'B9n Operated','Maximum Load','Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)',          'Interpreter', 'none' );
xlim([0 6])
ylim([0 500])
grid on

```

```

hold off

Stiffness_B9n =[p(1)];

% B10 Non Operated

figure( 'Name', 'B10 Non Operated' )

% Plot data
h = plot(B10n_Displacementmm, B10n_LoadN, 'k.' );

hold on

% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B10n_LoadN);
x_max          = B10n_Displacementmm(index);
plot( x_max,   y_max, 'k*')
text( x_max,   y_max, [ ' \leftarrow', num2str(y_max), ' N'] )

% Plot tangent
x = 0:.1:17;
p = [200.1 -134.8]; % polynomial function
z = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
plot(x,   polyval(p,x), 'Color', Olive)
text(0.5, 290,      z, 'Color', Olive)
k = [221.7 -208.7]; % polynomial function
s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',k(1),k(2));
plot(x,   polyval(k,x), 'Color', Ocean)
text(1.7, 90,      s, 'Color', Ocean)

% Legend
legend( 'B10n Operated', 'Maximum Load', 'Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );

```

```

ylabel( 'Force (N)',          'Interpreter', 'none' );
xlim([0 4])
ylim([0 500])
grid on

hold off

Stiffness_B10n = mean([p(1) k(1)]);
% B11 Non Operated
figure( 'Name', 'B11 Non Operated' )
% Plot data
h = plot(B11n_Displacementmm, B11n_LoadN, 'k.' );
hold on
% Plot maximum point
[y_max, index] = max(B11n_LoadN);
x_max          = B11n_Displacementmm(index);
plot( x_max,   y_max, 'k*' )
text( x_max,   y_max, [ ' \leftarrow', num2str(y_max), ' N' ] )
% Plot tangent
x = 0:.1:17;
p = [209.4 -130.1]; % polynomial function
s = sprintf('f(x) = (%.1f) * x + (%.1f)',p(1),p(2));
plot(x,   polyval(p,x), 'Color', Ocean)
text(0.3 , 210,      s, 'Color', Ocean)
% Legend
legend( 'B11n Operated', 'Maximum Load', 'Tangent', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );
% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)',          'Interpreter', 'none' );
xlim([0 3])
ylim([0 400])
grid on
hold off
Stiffness_B11n =[p(1)];

```

From the slope of the Linear Region, we calculate the stiffness of each sample, and the results are shown in the table created below.

```

Stiffness_non      = [Stiffness_B5n; Stiffness_B6n; Stiffness_B7n;
                    Stiffness_B9n; Stiffness_B10n; Stiffness_B11n]
Stiffness_non_mean = mean(Stiffness_non);
Stiffness_non_std  = std(Stiffness_non);
Stiffness_non_median = median(Stiffness_non);
non_names          = ["B5 non operated"; "B6 non operated"; "B7 non
operated"; "B9 Non operated"; "B10 Non operated"; "B11 Non operated"];
Results_stif_Non = table(non_names, Stiffness_non)

```

Comparative sample plots

Plot the force vs. displacement graph on group figures for comparison of the mechanical behavior of each sample.

```

%Every group on one graph for comparison
%% 'Non Operated'
figure( 'Name', 'Non Operated | Compared' )
title("Non operated samples")

% Plot data
h = plot(B5n_Displacementmm, B5n_LoadN, 'Marker','.', 'LineStyle','-
','color', Ocean ); % B5 Non Operated Ocean = [0.18 0.51 0.43];

hold on

h = plot(B6n_Displacementmm, B6n_LoadN, 'Marker','.', 'LineStyle','-
','color', Ash ); % B6 Non Operated
h = plot(B7n_Displacementmm, B7n_LoadN, 'Marker','.', 'LineStyle','-
','color', Olive ); % B7 Non Operated
h = plot(B9n_Displacementmm, B9n_LoadN, 'Marker','.', 'LineStyle','-
','color', Berry ); % B9 Non Operated
h = plot(B10n_Displacementmm, B10n_LoadN, 'Marker','.', 'LineStyle','-
','color', Orange ); % B10 Non Operated
h = plot(B11n_Displacementmm, B11n_LoadN, 'Marker','.', 'LineStyle','-
','color', Canary ); % B11 Non Operated

% Legend
legend( 'B5 Non Operated', 'B6 Non Operated', 'B7 Non Operated', 'B9 Non
Operated', 'B10 Non Operated', 'B11 Non Operated', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );

```

```

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
grid on
xlim([0 5.5])
ylim([0 655])

hold off
%% 'Operated with MSC Method'
figure( 'Name', 'Operated with MSC Method | Compared' )
title("Operated samples with MSC Method")

% Plot data
h = plot(B5o_Displacementmm, B5o_LoadN, 'Marker', '.', 'LineStyle', '-
', 'color', Berry ); % B5 Operated

hold on

h = plot(B7o_Displacementmm, B7o_LoadN, 'Marker', '.', 'LineStyle', '-
', 'color', Olive ); % B7 Operated

h = plot(B9o_Displacementmm, B9o_LoadN, 'Marker', '.', 'LineStyle', '-
', 'color', Ocean ); % B9 Operated

% Legend
legend( 'B5 Operated', 'B7 Operated', 'B9 Operated', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
grid on

xlim([0 25])
ylim([0 200])

hold off

```

```

%% 'Operated with TFL Method'
figure( 'Name', 'Operated with TFL Method | Compared' )
title("Operated samples with TFL Method")

% Plot data
h = plot(B1o_Displacementmm, B1o_LoadN, 'Marker', '.', 'LineStyle', '-
', 'color', Berry ); % B1 Operated

hold on

h = plot(B10o_Displacementmm, B10o_LoadN, 'Marker', '.', 'LineStyle', '-
', 'color', Olive ); % B10 Operated

h = plot(B11o_Displacementmm, B11o_LoadN, 'Marker', '.', 'LineStyle', '-
', 'color', Ocean ); % B11 Operated

% Legend
legend( 'B1 Operated', 'B10 Operated', 'B11 Operated', 'Location',
'NorthWest', 'Interpreter', 'none' );

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
grid on

xlim([0 15])
ylim([0 150])

hold off

```



```
%Plots for comparison
%% 'Operated with MSC Method'
figure( 'Name', 'Operated with MSC Method' )
title("Operated samples with MSC Method")

    subplot(3,1,1);
    title('B5 Operated')

        % Plot data
        h = plot(B5o_Displacementmm, B5o_LoadN, 'k.' );

        % Legend
        legend( 'B5 Operated', 'Location', 'NorthWest', 'Interpreter',
'none' );

        % Label axes
        xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
        ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
        grid on
        xlim([0 25])
        ylim([0 200])

    subplot(3,1,2);
    title('B7 Operated')

        % Plot data
        h = plot(B7o_Displacementmm, B7o_LoadN, 'k.' );

        % Legend
```

```

        legend( 'B7 Operated', 'Location', 'NorthWest', 'Interpreter',
'none' );

        % Label axes
        xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
        ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
        grid on
        xlim([0 25])
        ylim([0 200])

subplot(3,1,3);
title('B9 Operated')

        % Plot data
        h = plot(B9o_Displacementmm, B9o_LoadN, 'k.' );

        % Legend
        legend( 'B9 Operated', 'Location', 'NorthWest', 'Interpreter',
'none' );

        % Label axes
        xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
        ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
        grid on
        xlim([0 25])
        ylim([0 200])

%% 'Operated with TFL Method'
figure( 'Name', 'Operated with TFL Method' )
title("Operated samples with TFL Method")

subplot(3,1,1);
title('B1 Operated')

        % Plot data
        h = plot(B1o_Displacementmm, B1o_LoadN, 'k.' );

        % Legend

```

```

    legend( 'B1 Operated', 'Location', 'NorthWest', 'Interpreter',
'none' );

    % Label axes
    xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
    ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
    grid on
    xlim([0 15])
    ylim([0 150])

subplot(3,1,2);
title('B10 Operated')

    % Plot data
    h = plot(B10o_Displacementmm, B10o_LoadN, 'k.' );

    % Legend
    legend( 'B10 Operated', 'Location', 'NorthWest',
'Interpreter', 'none' );

    % Label axes
    xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
    ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
    grid on
    xlim([0 15])
    ylim([0 150])

subplot(3,1,3);
title('B11 Operated')

    % Plot data
    h = plot(B11o_Displacementmm, B11o_LoadN, 'k.' );

    % Legend
    legend( 'B11 Operated', 'Location', 'NorthWest',
'Interpreter', 'none' );

```

```

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
grid on
xlim([0 15])
ylim([0 150])

%% 'Non Operated'
figure( 'Name', 'Non Operated' )
title("Non operated samples")

subplot(3,2,1);
title('B5 Non Operated')

% Plot data
h = plot(B5n_Displacementmm, B5n_LoadN, 'k.' );

% Legend
legend( 'B5 Non Operated', 'Location', 'NorthWest',
'Interpreter', 'none' );

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
grid on
xlim([0 5.5])
ylim([0 655])

subplot(3,2,2);
title('B6 Non Operated')

% Plot data
h = plot(B6n_Displacementmm, B6n_LoadN, 'k.' );

% Legend
legend( 'B6 Non Operated', 'Location', 'NorthWest',
'Interpreter', 'none' );

```

```

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
grid on
xlim([0 5.5])
ylim([0 655])

subplot(3,2,3);
title('B7 Non Operated')

% Plot data
h = plot(B7n_Displacementmm, B7n_LoadN, 'k.' );

%Legend
legend( 'B7 Non Operated', 'Location', 'NorthWest',
'Interpreter', 'none' );

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
grid on
xlim([0 5.5])
ylim([0 655])

subplot(3,2,4);
title('B9 Non Operated')

% Plot data
h = plot(B9n_Displacementmm, B9n_LoadN, 'k.' );

% Legend
legend( 'B9 Non Operated', 'Location', 'NorthWest',
'Interpreter', 'none' );

```

```

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
grid on
xlim([0 5.5])
ylim([0 655])

subplot(3,2,5);
title('B10 Non Operated')

% Plot data
h = plot(B10n_Displacementmm, B10n_LoadN, 'k.' );

% Legend
legend( 'B10 Non Operated', 'Location', 'NorthWest',
'Interpreter', 'none' );

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
grid on
xlim([0 5.5])
ylim([0 655])

subplot(3,2,6);
title('B11 NonOperated')

% Plot data
h = plot(B11n_Displacementmm, B11n_LoadN, 'k.' );

% Legend
legend( 'B11 Non Operated', 'Location', 'NorthWest',
'Interpreter', 'none' );

```

```

% Label axes
xlabel( 'Displacement (mm)', 'Interpreter', 'none' );
ylabel( 'Force (N)', 'Interpreter', 'none' );
grid on
xlim([0 5.5])
ylim([0 655])

```

Experimental Results

```

%% Create a Table for all samples initial information
Names = categorical(Samples);
T      = table(Names, Method, TestDate, Weightkg, MaxDispmm,
MaxLoadN, TendonRsqmm, MaxStressRMPa, TendonEsqmm,
MaxStressEMPa, 'RowNames', Samples);
%format compact
summary(T);

Failure_load_all      = table2array(T(:, "MaxLoadN"));
Failure_load_all_mean = mean(Failure_load_all);
Failure_load_all_std  = std(Failure_load_all);
Failure_load_all_median = median(Failure_load_all);

Disp_max_all          = table2array(T(:, "MaxDispmm"));
Disp_max_all_mean     = mean(Disp_max_all);
Disp_max_all_std      = std(Disp_max_all);
Disp_max_all_median   = median(Disp_max_all);

Max_Stress_Ellipsis_all = table2array(T(:, "MaxStressEMPa"));
Max_Stress_Ellipsis_all_mean = mean(Max_Stress_Ellipsis_all);
Max_Stress_Ellipsis_all_std  = std(Max_Stress_Ellipsis_all);
Max_Stress_Ellipsis_all_median = median(Max_Stress_Ellipsis_all);

```

```

Max_Stress_Rectangle_all = table2array(T(:, "MaxStressRMPa"));
Max_Stress_Rect_all_mean = mean(Max_Stress_Rectangle_all);
Max_Stress_Rect_all_std = std(Max_Stress_Rectangle_all);
Max_Stress_Rect_all_median = std(Max_Stress_Rectangle_all);

```

Select Data Based on Categories | Non Operated

Create a subtable, T1, containing the names, maximum stress, and maximum load of all samples who were not operated and were used for a biomechanical experiment.

```

%% Select Data Based on Categories | Non Operated
rows = T.Method=='Non';
vars =
["Names", "MaxDispmm", "MaxLoadN", "MaxStressEMPa", "MaxStressRMPa"];
T1 = T(rows, vars);
% format compact
% summary(T1);

Failure_load_non = table2array(T1(:, "MaxLoadN"));
Failure_load_non_mean = mean(Failure_load_non);
Failure_load_non_std = std(Failure_load_non);
Failure_load_non_median = median(Failure_load_non);

Disp_max_non = table2array(T1(:, "MaxDispmm"));
Disp_max_non_mean = mean(Disp_max_non);
Disp_max_non_std = std(Disp_max_non);
Disp_max_non_median = median(Disp_max_non);

Max_Stress_Ellipsis_non = table2array(T1(:, "MaxStressEMPa"));
Max_Stress_Ellipsis_non_mean = mean(Max_Stress_Ellipsis_non);

```



```

Max_Stress_Ellips_non_std    = std(Max_Stress_Ellipsis_non);
Max_Stress_Ellips_non_median = median(Max_Stress_Ellipsis_non);

Max_Stress_Rectangle_non    = table2array(T1(:, "MaxStressRMPa"));
Max_Stress_Rect_non_mean    = mean(Max_Stress_Rectangle_non);
Max_Stress_Rect_non_std     = std(Max_Stress_Rectangle_non);
Max_Stress_Rect_non_median  = std(Max_Stress_Rectangle_non);

Stiffness_non               = [Stiffness_B5n ; Stiffness_B6n ; Stiffness_B7n;
Stiffness_B9n ; Stiffness_B10n ; Stiffness_B11n];
Stiffness_non_mean          = mean(Stiffness_non);
Stiffness_non_std           = std(Stiffness_non);
Stiffness_non_median        = median(Stiffness_non);

```

Select Data Based on Categories | MSC

Create a subtable, T2, containing the names, maximum stress, and maximum load of all samples who were operated with the MSC method and were used for a biomechanical experiment. We define the subset of variables and use parentheses to create the subtable, T2.

```

%% Select Data Based on Categories | MSC
rows = T.Method=='MSC';
vars =
["Names", "MaxDispmm", "MaxLoadN", "MaxStressEMPa", "MaxStressRMPa"];
T2 = T(rows,vars);
% summary(T2);

Failure_load_MSC          = table2array(T2(:, "MaxLoadN"));
Failure_load_MSC_mean     = mean(Failure_load_MSC);
Failure_load_MSC_std      = std(Failure_load_MSC);
Failure_load_MSC_median   = median(Failure_load_MSC);

Disp_max_MSC              = table2array(T2(:, "MaxDispmm"));
Disp_max_MSC_mean         = mean(Disp_max_MSC);
Disp_max_MSC_std          = std(Disp_max_MSC);
Disp_max_MSC_median       = median(Disp_max_MSC);

```

```

Max_Stress_Ellipsis_MSC      = table2array(T2(:, "MaxStressEMPa"));
Max_Stress_Ellips_MSC_mean  = mean(Max_Stress_Ellipsis_MSC);
Max_Stress_Ellips_MSC_std   = std(Max_Stress_Ellipsis_MSC);
Max_Stress_Ellips_MSC_median = median(Max_Stress_Ellipsis_MSC);

Max_Stress_Rectangle_MSC    = table2array(T2(:, "MaxStressRMPa"));
Max_Stress_Rect_MSC_mean    = mean(Max_Stress_Rectangle_MSC);
Max_Stress_Rect_MSC_std     = std(Max_Stress_Rectangle_MSC);
Max_Stress_Rect_MSC_median  = std(Max_Stress_Rectangle_MSC);

Stiffness_MSC               = [Stiffness_B5o ; Stiffness_B7o ; Stiffness_B9o
];
Stiffness_MSC_mean          = mean(Stiffness_MSC);
Stiffness_MSC_std           = std(Stiffness_MSC);
Stiffness_MSC_median        = median(Stiffness_MSC);

```

Select Data Based on Categories | TFL

Create a subtable, T3, containing the names, maximum stress, and maximum load of all samples who were operated with the TFL method and were used for a biomechanical experiment. We define the subset of variables and use parentheses to create the subtable, T3.

```

% Select Data Based on Categories | TFL
rows = T.Method=='FL';
vars =
["Names", "MaxDispmm", "MaxLoadN", "MaxStressEMPa", "MaxStressRMPa"];
T3 = T(rows,vars);
% summary(T3);

Failure_load_TFL           = table2array(T3(:, "MaxLoadN"));
Failure_load_TFL_mean      = mean(Failure_load_TFL);
Failure_load_TFL_std       = std(Failure_load_TFL);
Failure_load_TFL_median    = median(Failure_load_TFL);

Disp_max_TFL               = table2array(T3(:, "MaxDispmm"));
Disp_max_TFL_mean          = mean(Disp_max_TFL);
Disp_max_TFL_std           = std(Disp_max_TFL);
Disp_max_TFL_median        = median(Disp_max_TFL);

```

```

Max_Stress_Ellipsis_TFL      = table2array(T3(:, "MaxStressEMPa"));
Max_Stress_Ellips_TFL_mean  = mean(Max_Stress_Ellipsis_TFL);
Max_Stress_Ellips_TFL_std   = std(Max_Stress_Ellipsis_TFL);
Max_Stress_Ellips_TFL_median = median(Max_Stress_Ellipsis_TFL);

Max_Stress_Rectangle_TFL    = table2array(T3(:, "MaxStressRMPa"));
Max_Stress_Rect_TFL_mean    = mean(Max_Stress_Rectangle_TFL);
Max_Stress_Rect_TFL_std     = std(Max_Stress_Rectangle_TFL);
Max_Stress_Rect_TFL_median  = std(Max_Stress_Rectangle_TFL);

Stiffness_TFL               = [Stiffness_B1o ; Stiffness_B10o ;
Stiffness_B11o ];
Stiffness_TFL_mean          = mean(Stiffness_TFL);
Stiffness_TFL_std           = std(Stiffness_TFL);
Stiffness_TFL_median        = median(Stiffness_TFL);

```

Results

We present the gathered results of each group in a table showing the mean, standard deviation and median of Failure Load, Displacement and Stiffness.

```

%% Gathered Results
Groups = ["Non | Mean"; "Non | SD"; "Non | Median";
"MSC | Mean"; "MSC | SD"; "MSC | Median";
"TFL | Mean"; "TFL | SD"; "TFL | Median" ];

FailureLoad_N = [Failure_load_non_mean; Failure_load_non_std;
Failure_load_non_median; Failure_load_MSC_mean;
Failure_load_MSC_std; Failure_load_MSC_median;
Failure_load_TFL_mean; Failure_load_TFL_std;
Failure_load_TFL_median];

Displacement_mm = [Disp_max_non_mean; Disp_max_non_std;
Disp_max_non_median; Disp_max_MSC_mean;
Disp_max_MSC_std; Disp_max_MSC_median;
Disp_max_TFL_mean; Disp_max_TFL_std;
Disp_max_TFL_median];

Max_Stress_R_MPa = [Max_Stress_R_non_mean; Max_Stress_R_non_std;
Max_Stress_R_non_median; Max_Stress_R_MSC_mean;

```

```

Max_Stress_R_MSC_std; Max_Stress_R_MSC_median;
Max_Stress_R_TFL_mean; Max_Stress_R_TFL_std;
Max_Stress_R_TFL_median];
Max_Stress_E_MPa = [Max_Stress_E_non_mean; Max_Stress_E_non_std;
Max_Stress_E_non_median; Max_Stress_E_MSC_mean;
Max_Stress_E_MSC_std; Max_Stress_E_MSC_median;
Max_Stress_E_TFL_mean; Max_Stress_E_TFL_std;
Max_Stress_E_TFL_median];
Stiffness_Nmm = [Stiffness_non_mean; Stiffness_non_std;
Stiffness_non_median; Stiffness_MSC_mean;
Stiffness_MSC_std; Stiffness_MSC_median;
Stiffness_TFL_mean; Stiffness_TFL_std;
Stiffness_TFL_median];

%Create table with results
Results = table(FailureLoad_N, Displacement_mm,
Stiffness_Nmm, 'RowNames', Groups)

```

Create a bar plot based on all experimental data

Create a bar plot that shows the maximum load until failure; rupture of the tendon; that can handle each sample. Use FaceAlpha to set the opacity of the bar plot and FaceColor to set

```

%% Bar plot of all samples
figure( 'Name', 'Max Load (N)_bar' )
bar(MaxLoadN, 'FaceAlpha', 1.0, 'FaceColor', River)
xticklabels(T.Names);
title("Max Load (N) of all samples")
grid on

err = [Failure_load_TFL_std; Failure_load_non_std;
Failure_load_MSC_std; Failure_load_non_std;
Failure_load_non_std; Failure_load_MSC_std;
Failure_load_non_std; Failure_load_MSC_std;
Failure_load_non_std; Failure_load_TFL_std;
Failure_load_non_std; Failure_load_TFL_std];

hold on

```

```

er          = errorbar(T.MaxLoadN,err);
er.Color    = [0 0 0];
er.LineStyle = 'none';

hold off

```

Create a bar plot based on the experimental data | Non Operated

Create a bar plot that shows the maximum load until failure; rupture of the tendon; that can handle each sample, from the group that was not operated.

```

% Bar plot of Non Operated Samples
figure( 'Name', 'Non Operated Samples_bar' )
bar(T1.MaxLoadN,'FaceAlpha',1.0,'FaceColor', River)
xticklabels(T1.Names);
title("Max Load (N) of non operated samples")
grid on
err          = Failure_load_non_std*ones(size(T1.Names));
hold on
er          = errorbar(T1.MaxLoadN,err);
er.Color    = [0 0 0];
er.LineStyle = 'none';
hold off

```

Create a bar plot based on the experimental data | MSC

Create a bar plot that shows the maximum load until failure; rupture of the tendon; that can handle each sample, from the group that was operated with the MSC Method.

```

%% Bar plot of Operated Samples | MSC
figure( 'Name', 'Operated with MSC Method_bar' )
bar(T2.MaxLoadN,'FaceAlpha',1.0,'FaceColor', River)
xticklabels(T2.Names);
title("Max Load (N) of samples operated MSC Method")
grid on
err      = Failure_load_MSC_std*ones(size(T2.Names));
hold on
er       = errorbar(T2.MaxLoadN,err);
er.Color = [0 0 0];
er.LineStyle = 'none';
hold off

```

Create a bar plot based on the experimental data | TFL

Create a bar plot that shows the maximum load until failure; rupture of the tendon; that can handle each sample, from the group that was operated with the TFL Method.

```

%% Bar plot of Operated Samples | TFL
figure( 'Name', 'Operated with TFL Method_bar' )
bar(T3.MaxLoadN,'FaceAlpha',1.0,'FaceColor', River)
xticklabels(T3.Names);
title("Max Load (N) of samples operated TFL Method")
grid on
err      = Failure_load_TFL_std*ones(size(T3.Names));
hold on
er       = errorbar(T3.MaxLoadN,err);
er.Color = [0 0 0];
er.LineStyle = 'none';
hold off

```

Create a bar plot based on the experimental data | Groups

Create a bar plot that shows the maximum load until failure; rupture of the tendon; that each group can handle.

```
% Bar plot of Representatives
figure( 'Name', 'All_Groups_bar' )
bar([Failure_load_non_mean; Failure_load_MSC_mean;
Failure_load_TFL_mean ], 'FaceAlpha',1.0, 'FaceColor', River)
xticklabels(["Non Operated", "MSC Group", "TFL Group"]);
title("Max Load (N) of all samples groups")
grid on
err      = [Failure_load_non_std; Failure_load_MSC_std;
            Failure_load_TFL_std ];

hold on
er       = errorbar([Failure_load_non_mean; Failure_load_MSC_mean;
                    Failure_load_TFL_mean],err);

er.Color   = [0 0 0];
er.LineStyle = 'none';
hold off
```


Βιβλιογραφία

- [1] Assila, N., Duprey, S., & Begon, M. (2021). Glenohumeral joint and muscles functions during a lifting task.
- [2] Bonilla, K. A., Pardes, A. M., Freedman, B. R., & Soslowsky, L. J. (2019). Supraspinatus Tendons Have Different Mechanical Properties Across Sex.
- [3] Chen, S.M. (1986). Statistical Data Base for the Biomechanical Properties of the Human Shoulder Complex-I: Kinematics of the Shoulder Complex.
- [4] Cole, B., & Chahla, J. (2022). Surgical Techniques of the Shoulder, Elbow, and Knee in Sports Medicine.
- [5] Cudlip, A. C., Callaghan, J. P., Dulhanty, C., Wong, A., & Dickerson, C. R. (2021). Quantifying supraspinatus tendon responses to exposures emulative of human physiological levels in an animal model.
- [6] Enderle, J., & Bronzino, J. (2012). Introduction to Biomedical Engineering.
- [7] Engirt, A. E. (1989). Three-Dimensional Kinematic Modelling of the Human Shoulder Complex-Part II: Mathematical Modelling and Solution Via Optimization.
- [8] Ferdinand, B., Jr, J., E, R., John, D., & David, M. (2011). Mechanics of Materials.
- [9] Fira, T. (2020). Architecture of muscle tissue and its adaptation to pathological conditions.
- [10] Fung, Y.C. (1993). Biomechanics.
- [11] Gimbel, J. A., Kleunen, J. P. V., Mehta, S., Perry, S. M., Williams, G. R., & Soslowsky, L. J. (2004). Supraspinatus tendon organizational and mechanical properties in a chronic rotator cuff tear animal model.
- [12] Gordon, K., Brett, A., & Weber, J. F. (2017). Uniaxial Biomechanical Testing of Ligaments and Tendons.
- [13] Gray, H., & Carter, H. V. (2020). Gray's anatomy: The anatomical basis of clinical

practice.

- [14] Gross, D., Hauger, W., Schröder, J., Wall, W. A., & Bonet, J. (2018). *Engineering Mechanics 2*.
- [15] Hamill, J. (2014). *Biomechanical Basis of Human Movement*.
- [16] Hamilton, N. (Nancy P., Weimar, W., & Luttgens, K. (2012). *Kinesiology: Scientific basis of human motion*.
- [17] Huegel, J., Williams, A. A., & Soslowky, L. J. (2015). *Rotator Cuff Biology and Biomechanics: A Review of Normal and Pathological Conditions*.
- [18] Kaizawa, Y., Franklin, A., Leyden, J., Behn, A. W., Tulu, U. S., Leon, D. S., Wang, Z., Abrams, G. D., Chang, J., & Fox, P. M. (2019). Augmentation of chronic rotator cuff healing using adipose-derived stem cell-seeded human tendon-derived hydrogel.
- [19] Kaya, D. Ö. (2020). Architecture of tendon and ligament and their adaptation to pathological conditions.
- [20] Latash, M. L., & Zatsiorsky, V. M. (2016). *Stiffness and Stiffness-like Measures*.
- [21] Lebaschi, A., Deng, X. H., Zong, J., Cong, G. T., Carballo, C. B., Album, Z. M., Camp, C., & Rodeo, S. A. (2016). Animal models for rotator cuff repair.
- [22] Maganaris, C. N., Narici, M. V., & Maffulli, N. (2008). *Biomechanics of the Achilles tendon*.
- [23] Maganaris, C. N., & Paul, J. P. (1999). In vivo human tendon mechanical properties.
- [24] Mansfield, P. J., & Neumann, D. A. (2019). *Structure and Function of the Shoulder Complex*.
- [25] Moore, K. L., Agur, A. M. R., & Dalley, A. F. (2023). *Clinically oriented anatomy*.
- [26] Neumann, D. A. (2017). *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation*.
- [27] Newton, J. B., Fryhofer, G. W., Rodriguez, A. B., Kuntz, A. F., & Soslowky, L. J. (2021). Mechanical properties of the different rotator cuff tendons in the rat are similarly and adversely affected by age.
- [28] Oatis, C. A. (2008). *Kinesiology: The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement*.

- [29] Pulatkan, A., Anwar, W., Ayık, O., Bozdog, E., Yildirim, A. N., Kapıcıoğlu, M., Tuncay, I., & Bilsel, K. (2020). Tear Completion Versus In Situ Repair for 50% Partial-Thickness Bursal-Side Rotator Cuff Tears: A Biomechanical and Histological Study in an Animal Model.
- [30] Rezvanifar, S. C., Lamb, J. J., Wing, M. F., Ellingson, A. M., Braman, J. P., Ludewig, P. M., & Barocas, V. H. (2024). The long head of the biceps tendon undergoes multiaxial deformation during shoulder motion.
- [31] Ross, E., & Craig, S. (2007). *Introductory Biomechanics: From Cells to Organisms*.
- [32] Seki, N., Itoi, E., Shibuya, Y., Wakabayashi, I., Sano, H., Sashi, R., Minagawa, H., Yamamoto, N., Abe, H., Kikuchi, K., Okada, K., & Shimada, Y. (2008). Mechanical environment of the supraspinatus tendon: Three-dimensional finite element model analysis.
- [33] Shin, M. J., Shim, I. K., Kim, D. M., Choi, J. H., Lee, Y. N., Jeon, I. H., Kim, H., Park, D., Kholinne, E., Yang, H. S., & Koh, K. H. (2020). Engineered Cell Sheets for the Effective Delivery of Adipose-Derived Stem Cells for Tendon-to-Bone Healing.
- [34] Thomopoulos, S. (2003). Variation of biomechanical, structural, and compositional properties along the tendon to bone insertion site.
- [35] Wang, J. H. C. (2006). *Mechanobiology of tendon*.
- [36] Wei, F.-C., & Mardini, S. (2017). *Flaps and Reconstructive Surgery*.
- [37] Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*.
- [38] Xu, J., Li, Y., Zhang, X., Han, K., Ye, Z., Wu, C., Jiang, J., Yan, X., Su, W., & Zhao, J. (2022). The Biomechanical and Histological Processes of Rerouting Biceps to Treat Chronic Irreparable Rotator Cuff Tears in a Rabbit Model.
- [39] Yeşilyaprak, S. S. (2020). *Kinesiology of the shoulder complex*.
- [40] Yildiz, F., Bilsel, K., Pulatkan, A., Kapıcıoğlu, M., Uzer, G., Çetindamar, T., Sonmez, C., Bozdog, E., & Sünbülöglü, E. (2019). Comparison of two different superior capsule reconstruction methods in the treatment of chronic irreparable rotator cuff tears: A biomechanical and histologic study in rabbit models.
- [41] Yokoya, S., Mochizuki, Y., Natsu, K., Omae, H., Nagata, Y., & Ochi, M. (2012).

Rotator cuff regeneration using a bioabsorbable material with bone marrow-derived mesenchymal stem cells in a rabbit model.

- [42] Κατσιφής, Γ. (n.d.). Τένοντες και Σύνδεσμοι.
- [43] Παπαβασιλείου, Π. (n.d.). Ακτινογραφική απεικόνιση ωμικής ζώνης.
- [44] Μασσαλάς Χ., Ποτσίκια, Β., Φωτιάδης, Δ. (2018). Εισαγωγή στην εμβιομηχανική.
- [45] Προβατίδης, Χ. (n.d.). Εμβιομηχανική και Βιοϊατρική Τεχνολογία Σημειώσεις Μαθήματος.
- [46] Χρίστος, Α., & Αγγελίδης, Σ. (n.d.). Κινησιολογία.