

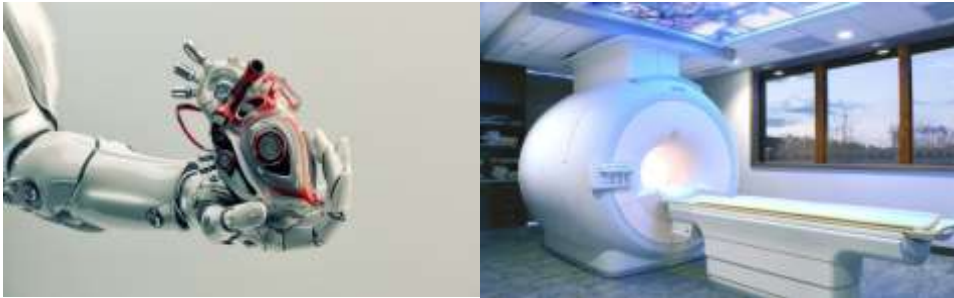


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**Ανάπτυξη συστήματος ανάλυσης ιατρικής εικόνας για τη μελέτη
χαρακτηριστικών υφής στην Μαγνητική Τομογραφία γονάτου**



Σπυρόπουλος Αλέξανδρος

Αριθμός Μητρώου: 14096

Επιβλέπων Καθηγητής

Κωστόπουλος Σπυρίδων, Αν. Καθηγητής

Αθήνα, 2022

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

Σπυρίδων Κωστόπουλος

Αν. Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Δημήτριος Γκλώτσος

Αν. Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

Ελευθέριος Λαβδάς

Αν. Καθηγητής

[ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ]

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο υπογράφων Σπυρόπουλος Αλέξανδρος του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 14096 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου/διπλώματός μου».

Ημερομηνία

12/7/2022

Ο Δηλών



Σπυρόπουλος Αλέξανδρος

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την δημιουργία ενός υπολογιστικού συστήματος ανάλυσης ιατρικής εικόνας για την μελέτη χαρακτηριστικών υφής στη μαγνητική τομογραφία χόνδρου γονάτου, καθώς και την στατιστική ανάλυση των χαρακτηριστικών αυτών. Για την μελέτη αυτή εξετάστηκαν ψηφιακές εικόνες από οριοθετημένες Περιοχές Ενδιαφέροντος (ΠΕ) του έσω μηριαίου κονδύλου, από Μαγνητική Τομογραφία γόνατος ακολουθίας PD-FS σε στεφανιαίο και οβελιαίο επίπεδο. Μελετήθηκαν 36 περιπτώσεις υγείων και 10 παθολογικών χόνδρων. Τα δεδομένα ελήφθησαν από προηγούμενες μελέτες.

(Kostopoulos , 2012)(Μπουτσίκου , 2015)

Σε πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε εξαγωγή 17 χαρακτηριστικών 1^{ης} τάξης από τις ΠΕ και ακολούθως έγινε εξαγωγή 8 χαρακτηριστικών 2^{ης} τάξης χρησιμοποιώντας την μέθοδο του πίνακα συνεμφάνισης των τόνων του γκρι (GLCM). Κατόπιν έγινε έλεγχος κανονικότητας των χαρακτηριστικών και διερευνήθηκε η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των κατηγοριών

Από τα αποτελέσματα συμπεράναμε ότι υπάρχουν χαρακτηριστικά υφής και στα δύο επίπεδα που παρουσιάζουν σημαντικά στατιστική διαφορά μεταξύ των φυσιολογικών και παθολογικών ΠΕ. Οι ΠΕ που αντιστοιχούν σε φυσιολογικό αρθρικό χόνδρο παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιογένεια σε σχέση με τις αντίστοιχες των παθολογικών περιστατικών κάτι που συνάδει με προηγούμενες σχετικές μελέτες.

Θεματική περιοχή: Επεξεργασία και ανάλυση ιατρικής εικόνας , Βιοστατιστική.

Λέξεις κλειδιά: Επεξεργασία και ανάλυση ιατρικής εικόνας, Άρθρωση γόνατος, Μαγνητική Τομογραφία, Χαρακτηριστικά Υφής

Abstract

The present thesis aims to create a computerized system for medical image analysis to study the textural characteristics of magnetic resonance images of the knee's cartilage, as well as the statistical analysis of these characteristics. To this end, digital images of delineated regions of interest (ROIs) of the medial femoral condyle in coronal and sagittal planes of the PD-FS MRI knee examination. Thirty six (36) healthy and ten (10) pathological cases were examined. Data were obtained from previous studies.

(Kostopoulos,2012)(Boutsikou,2015)

Seventeen (17) features (histogram based - 1st order statistics) were extracted from the ROIs and eight (8) features (2nd order statistics) were extracted using the method of Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM). The normality of the features was tested by Lilliefors test and then the existence of statistically significant differences between the categories was investigated.

We concluded that there are textural features at both planes that appeared statistically significant differences between normal and pathological conditions. ROIs of normal cartilage appeared more homogeneous in contrast to healthy ones, which is consistent with previous relevant studies.

Thematic area: Medical image processing and analysis, Biostatistics.

Keywords: Medical image processing and analysis, Knee joint, MRI scanner, Textural characteristics

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Σπυρίδων Κωστόπουλο, Αναπληρωτή καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για την στήριξη και τον χρόνο που αφιέρωσε στη λύση αποριών μου και την καθοδήγηση για την συγγραφή της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το Τμήμα Ακτινολογίας του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Λάρισας για την προσφορά των Περιοχών Ενδιαφέροντος που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Περιεχόμενα

Περλήψη	4
Abstract	5
Ευχαριστίες	6
Περιεχόμενα	7
Περιεχόμενα Εικόνων	9
Περιεχόμενα Πινάκων	10
1. Εισαγωγή	12
2. Υπόβαθρο	13
2.1 Ανατομία του Γόνατος.....	13
2.2 Παθολογίες του Γόνατος.....	19
2.2.1 Οστεοαρθρίτιδα.....	20
2.2.2 Άλλες παθολογίες.....	22
2.3 Μαγνητική Τομογραφία και απεικόνιση γόνατος.....	23
2.3.1 Απεικονιστικές Μέθοδοι.....	23
2.3.2 Ακολουθίες Μαγνητικής Τομογραφίας.....	25
2.3.3 Οργανολογία Μαγνητικού Τομογράφου.....	26
2.4 Επεξεργασία Εικόνας.....	28
2.4.1 Matlab.....	28
2.4.2 Ψηφιακή Εικόνα.....	28
2.4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της εικόνας.....	29
3. Μεθοδολογία	30
3.1 Δεδομένα-Υλικό.....	30
3.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά και Χαρακτηριστικά υφής.....	31
3.3 Κατανομές πιθανότητας και Έλεγχος υποθέσεων.....	38
4. Αποτελέσματα	41
4.1 Αποτελέσματα από την εξαγωγή των χαρακτηριστικών υφής.....	41

4.2 Αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου των χαρακτηριστικών.....	51
5. Συμπεράσματα	58
Πίνακας Ορολογίας.....	59
Αναφορές-Πηγές	60

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Άρθρωση του Γόνατος.....	13
Εικόνα 2: Μηριαίος κόνδυλος.....	14
Εικόνα 3: Επιγονατίδα Α: πρόσθια όψη Β: Οπίσθια όψη.....	16
Εικόνα 4: Ανατομία γονάτου, σύνδεσμοι.....	18
Εικόνα 5: Οστεοαρθρίτιδα, Απώλεια αρθρικού χόνδρου τόσο σε μηριαίες όσο και σε κνήμες πτυχές, με αποτέλεσμα την έκθεση του αγγειοποιημένου υποκείμενου οστού.....	19
Εικόνα 6: Απεικόνιση, μέσω μαγνητικής τομογραφίας, της οστεοαρθρίτιδας του γόνατος.....	21
Εικόνα 7: Οίδημα του μυελού των οστών του γόνατος.....	22
Εικόνα 8: Τα δομικά συστατικά του μαγνητικού τομογράφου.....	26
Εικόνα 9: Κύρια τμήματα της εγκατάστασης ενός απεικονιστικού συστήματος μαγνητικού συντονισμού.....	27
Εικόνα 10: Οβελιαίο ανατομικό επίπεδο, φυσιολογική εικόνα.....	30
Εικόνα 11: Οβελιαίο ανατομικό επίπεδο, εικόνα με παθολογία.....	30
Εικόνα 12: Στεφανιαίο ανατομικό επίπεδο, φυσιολογική εικόνα.....	31
Εικόνα 10: Στεφανιαίο ανατομικό επίπεδο, εικόνα με παθολογία.....	31
Εικόνα 14. Παράδειγμα διανυσμάτων που καθορίζουν την σχέση των εικονοστοιχείων.....	36
Εικόνα 15. Παράδειγμα πίνακα τόνων του γκρι.....	36
Εικόνα 16. Παράδειγμα πίνακα συνεμφάνισης για διεύθυνση 0 μοιρών.....	36

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις με παθολογία.....	43
Πίνακας 2. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις με παθολογία.....	43
Πίνακας 3. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 2 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις με παθολογία.....	44
Πίνακας 4. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία.....	45
Πίνακας 5. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1ης τάξης για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία.....	46
Πίνακας 6. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 2 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία.....	46
Πίνακας 7. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις με παθολογία.....	47
Πίνακας 8. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις με παθολογία.....	47
Πίνακας 9. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 2 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις με παθολογία.....	48
Πίνακας 10. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία.....	49
Πίνακας 11. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία.....	50
Πίνακας 12. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 2 ^{ης} τάξης για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία.....	51
Πίνακας 13. Τιμές χαρακτηριστικών για επίπεδο σημαντικότητας p-value = 0.01.....	52

Πίνακας 14. Τιμές χαρακτηριστικών για επίπεδο σημαντικότητας $p\text{-value} = 0.005$56

1. Εισαγωγή

Σήμερα ολοένα και περισσότεροι άνθρωποι αντιμετωπίζουν θέματα στα γόνατα τους. Για αυτό τον λόγο παραπέμπονται πολύ συχνά για μαγνητική τομογραφία. Με αυτόν τον τρόπο εντοπίζονται οι περισσότερες από τις κοινές αιτίες πόνου στο γόνατο όπως η αρθρίτιδα και μυϊκές και οστικές βλάβες. Οι βλάβες που μοιάζουν με οίδημα του μυελού των οστών (BMLs) είναι ένα είδος οστικής νόσου και συμβαίνει λόγω υπερβολικού στρες στις αρθρώσεις. Το υπερβολικό στρες των αρθρώσεων μπορεί να προκληθεί από παθολογικές αλλαγές της άρθρωσης του γόνατος. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει αποδειχθεί πολύτιμη βοήθεια στην μελέτη και ανάλυση τέτοιων παθολογικών αλλαγών. Στην ουσία γίνεται ποιοτική και ποσοτική μελέτη μορφολογικών χαρακτηριστικών αλλά και χαρακτηριστικών υφής και ανάλογα τα αποτελέσματα, γίνεται η αντίστοιχη κατηγοριοποίηση της βλάβης στο χόνδρο του γόνατου. Η κατηγοριοποίηση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλους αλγορίθμους που εκτελούνται σε σύγχρονους ηλεκτρονικούς υπολογιστές υψηλών απαιτήσεων.

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να παρουσιάσει μεθόδους επεξεργασίας ιατρικών εικόνων από τις οποίες θα εξάγουμε χαρακτηριστικά τα οποία στην συνέχεια θα ελεγχθούν για την στατιστική συσχέτιση τους.

Αρχικά θα γίνει η απαραίτητη παρουσίαση της ανατομίας και των μέρων της άρθρωσης του γόνατος, καθώς και εκτεταμένη αναφορά στις πιθανές παθολογίες που μπορεί να προκληθούν στο γόνατο. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε τα μέρη και την χρησιμότητα του Μαγνητικού Τομογράφου, του οργάνου δηλαδή που θα μας βοηθήσει στην λήψη των εικόνων. Τέλος θα παρουσιαστούν οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών από τις εικόνες και τα αποτελέσματα που λήφθηκαν από την πειραματική διαδικασία εξηγώντας παράλληλα τη σημασία αυτών των αποτελεσμάτων.

2. Υπόβαθρο

2.1 Ανατομία του Γόνατος

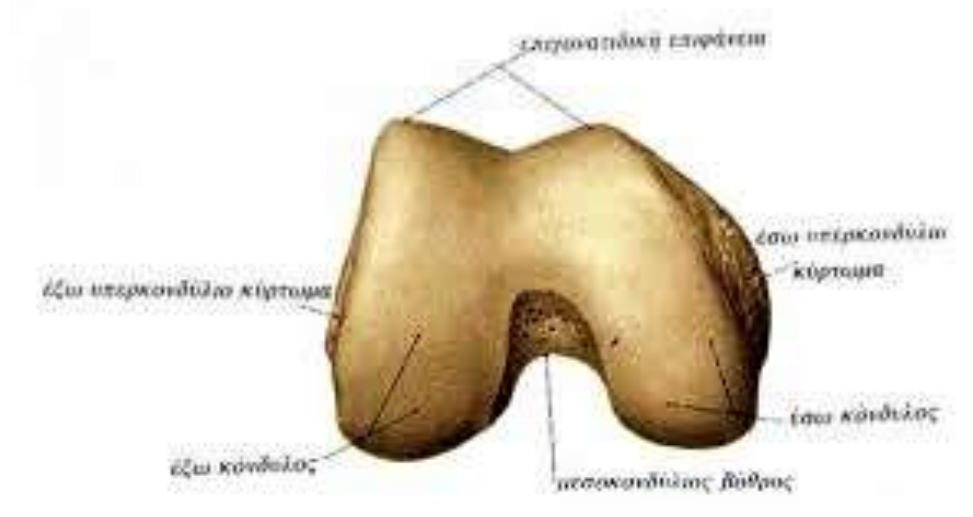
Το γόνατο ([Εικόνα 1](#)) είναι μια από τις μεγαλύτερες και πιο πολύπλοκες αρθρώσεις στο ανθρώπινο σώμα. Το μεγάλο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας γύρω από την συγκεκριμένη άρθρωση οφείλεται κυρίως στην πολυπλοκότητα της σε συνδυασμό όμως με τις πολύ μεγάλες δυνάμεις που ασκούνται σε αυτήν σε καθημερινή βάση. Ξεκινώντας στην άρθρωση του γόνατος γίνεται η ένωση του οστού του μηρού (μηριαίος) με το οστό των κνημών (κνήμη). Το μικρότερο οστό το οποίο παρατηρείται παράλληλα με την κνήμη ονομάζεται ινώδες και μαζί με την επιγονατίδα συμπληρώνουν τα υπόλοιπα οστά που φτιάχνουν την άρθρωση του γόνατος. Οι τένοντες έχουν ως βασική λειτουργία την ένωση των οστών του γόνατος με τους μύες των ποδιών που κινούν την άρθρωση του γόνατος. Οι σύνδεσμοι παρέχουν την απαραίτητη σταθερότητα στο γόνατο. Τέλος υπάρχουν μικροί σάκοι γεμάτοι με υγρά οι οποίοι συμβάλλουν στην ομαλή κίνηση του γόνατος.



Εικόνα 2: Γόνατο/ πηγή/: <https://www.iatropedia.gr>

Στο κάτω άκρο του μηριαίου οστού βρίσκονται οι δύο μηριαίοι κόνδυλοι, ([Εικόνα 2](#)) πιο συγκεκριμένα ο έσω και ο έξω, οι οποίοι αρθρώνονται με τους μηνίσκους και

τους κνημιαίους κόνδυλους και σχηματίζουν την διάρθρωση του γόνατος. Ο έσω μηριαίος κόνδυλος είναι μεγαλύτερος σε μέγεθος και προβάλλεται περιφερειακά από τον έξω, ο οποίος με την σειρά του προβάλλει προς τα εμπρός. Οι δύο μηριαίοι κόνδυλοι ξεχωρίζουν προς τα πίσω και προς τα κάτω από τον μεσοκονδύλιο βόθρο αλλά ενώνονται μεταξύ τους προς τα εμπρός, σχηματίζοντας ένα ρηχό επίμηκες εντύπωμα, την μηριαία τροχιλία ή επιγονατιδική αρθρική επιφάνεια η οποία αρθρώνεται με την επιγονατίδα. Στην έξω επιφάνεια του έξω μηριαίου κόνδylου και στην έξω επιφάνεια του έσω μηριαίου κόνδυλου διακρίνονται το έξω και έσω υπερκονδύλιο κύρτωμα τα οποία χορηγούν εγγύς προσφύσεις για τους έσω και τους έξω πλάγιους συνδέσμους της διάρθρωσης του γόνατος. Η κάτω επιφάνεια κάθε μηριαίου κόνδυλου αρθρώνεται με την άνω επιφάνεια του σύστοιχου κνημιαίου κόνδυλου.



Εικόνα 2: μηριαίος κόνδυλος/πηγή/:

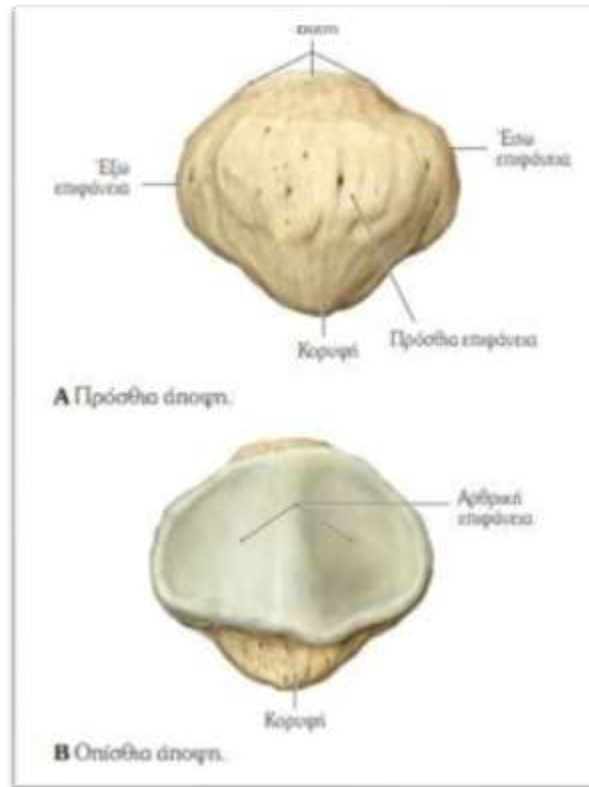
<https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/8969/LemoniaAikaterini2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Η κνήμη είναι το δεύτερο μεγαλύτερο οστό του ανθρώπου. Το άνω άκρο της κνήμης διευρύνεται και σχηματίζει δύο ογκώματα, τον έσω κνημιαίο κόνδυλο και τον έξω κνημιαίο κόνδυλο που βρίσκονται πάνω από την διάφυση προς τα έσω, προς τα έξω καθώς και προς τα πίσω σχηματίζοντας μια σχετικά επίπεδη άνω αρθρική επιφάνεια. Αυτή η επιφάνεια αποτελείται από δύο λείες αρθρικές επιφάνειες την έσω που είναι ελαφρώς κοίλη και την έξω που είναι ελαφρώς κυρτή και οι οποίες αρθρώνονται με

τους μεγάλους μηριαίους κονδύλους. Η άνω επιφάνεια κάθε κνημιαίου κονδύλου παρουσιάζει την κνημιαία γλήνη η οποία καλύπτεται από αρθρικό χόνδρο και αρθρώνεται με την κάτω αρθρική επιφάνεια του σύστοιχου μηριαίου κονδύλου. Στο μέσο των δύο κνημιαίων κονδύλων υπάρχει το μεσοκονδύλιο ή μεσογλήνιο φύμα το οποίο διαιρείται στο έσω και στο έξω γληνιαίο φύμα. Μπροστά και πίσω από το μεσογλήνιο φύμα διακρίνουμε τον πρόσθιο και οπίσθιο μεσογλήνιο βόθρο. Από τον πρόσθιο μεσογλήνιο βόθρο εκφύεται ο πρόσθιος χιαστός σύνδεσμος και οι δύο μηνίσκοι. Από τον οπίσθιο μεσογλήνιο βόθρο εκφύεται ο οπίσθιος χιαστός σύνδεσμος. Οι μεσογλήνιοι βόθροι χορηγούν πρόσφυση για τους μηνίσκους και τους συνδέσμους του γόνατος, που συγκρατούν το οστό του μηρού και της κνήμης μαζί. Στην μπροστινή επιφάνεια της κνήμης παρατηρείται το κνημιαίο κύρτωμα στο οποίο καταφύεται ο επιγονατιδικός σύνδεσμος..

Η επιγονατίδα ([Εικόνα 3](#)) είναι το οστό το οποίο καλύπτει και προστατεύει το γόνατο. Είναι το μεγαλύτερο σε πλάτος σησαμοειδές οστό, και σχηματίζεται μέσα σε μυϊκό τένοντα. Είναι το μεγαλύτερο οστό στο ανθρώπινο σώμα, με διάμετρο περίπου 5 εκατοστά και βρίσκεται στην πρόσθια επιφάνεια του γόνατος. Η δράση της επιγονατίδας είναι η βοήθεια που παρέχει ώστε να μην κοπεί ο τένοντας του γονάτου. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι σαν τροχαλία. Παρουσιάζει ανάστροφο τριγωνικό σχήμα με τη βάση προς τα πάνω, όπου σε αυτήν την βάση συνδέεται ο τένοντας του τετρακέφαλου μυ, και την κορυφή προς τα κάτω η οποία χρησιμεύει στην πρόσφυση του επιγονατιδικού συνδέσμου, που ενώνει την επιγονατίδα με την κνήμη. Η οπίσθια επιφάνεια της αρθρώνεται με το μηριαίο οστό.

(Moore, 2016)



Εικόνα 3:Επιγονατίδα /πηγή/: <https://docplayer.gr/174176470-Anatomia-dialexi-10-gonato-knimi-didaskon-athanasios-tsiokanos-kathigitis-viokinitikis.html>

Ο μηνίσκος αποτελείται από δύο ινοχόνδρινες δομές μηνοειδούς σχήματος. Ο έσω μηνίσκος έχει σχήμα «C» ενώ ο έξω μηνίσκος είναι περισσότερο κυκλικός. Βρίσκονται ανάμεσα στις αρθρικές επιφάνειες των μηριαίων και κνημιαίων κονδύλων και συμβάλουν στην απόσβεση της πίεσης που ασκείται και την απορρόφηση των κραδασμών. Οι βασικές λειτουργίες των μηνίσκων είναι η μεταφορά των φορτίων από τον μηρό στην κνήμη και τέλος συμβάλλουν σημαντικά στη σταθερότητα της άρθρωσης.

Οι σύνδεσμοι [\(Εικόνα 4\)](#) παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην σταθερότητα της άρθρωσης του γόνατος. Οι κύριοι σύνδεσμοι που παρατηρούνται στην άρθρωση του γόνατος είναι 4:

1. Πρόσθιοι σύνδεσμοι
2. Πλάγιοι σύνδεσμοι
3. Οπίσθιοι σύνδεσμοι
4. Χιαστοί σύνδεσμοι

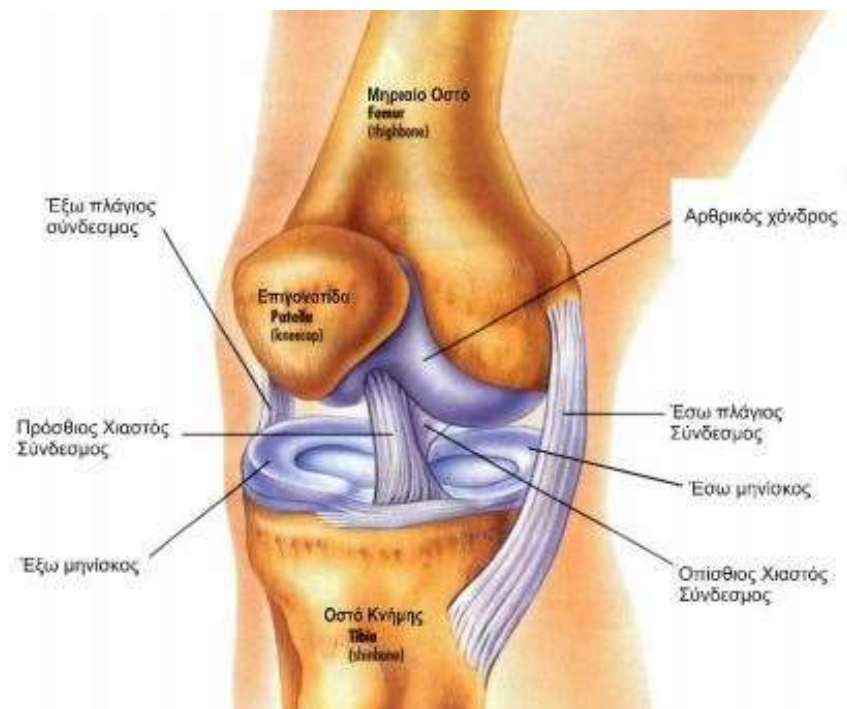
Οι πρόσθιοι σύνδεσμοι αποτελούνται από: α) τον επιγονατιδικό σύνδεσμο ο οποίος αποτελεί συνέχεια του τένοντα του τετρακέφαλου και εκτείνεται από τη κορυφή της επιγονατίδας μέχρι το κνημιαίο κύρτωμα της επιγονατίδας και β) τους καθεκτικούς συνδέσμους της επιγονατίδας όπου εδώ αναφερόμαστε σε ινώδη πέταλα τα οποία εκτείνονται και από τις δύο μεριές των υπερκονδύλιων κυρτωμάτων μέχρι την επιγονατίδα και το κνημιαίο κύρτωμα.

Οι πλάγιοι σύνδεσμοι αποτελούνται από: α) τον έσω πλάγιο σύνδεσμο, ο οποίος εκφύεται από το έσω υπερκονδύλιο κύρτωμα και καταφύεται στον έσω κνημιαίο κόνδυλο. Ο έσω πλάγιος είναι μπλεγμένος με τον αρθρικό θύλακα και με τη βάση του έσω μηνίσκου, β) τον έξω πλάγιο σύνδεσμο, ο οποίος εκφύεται από το έξω υπερκονδύλιο κύρτωμα και καταφύεται στη κεφαλή της περόνης, είναι τελείως χωρισμένος από τον αρθρικό θύλακα.

Οι οπίσθιοι σύνδεσμοι αποτελούνται από α) τον λοξός ιγνυακό σύνδεσμο, ο οποίος είναι προέκταση του ημιμυενώδη, μπλέκεται με τον αρθρικό θύλακα στην οπίσθια επιφάνεια, ενισχύει την άρθρωση του γόνατος από την πίσω επιφάνεια, β) τον τοξοειδή ιγνυακό σύνδεσμο, περιγράφονται οι δεσμίδες από συνδετικό ιστό που εκφύονται από την κορυφή της περόνης, φέρονται προς τα πάνω και μπλέκονται με το οπίσθιο τοίχωμα του αρθρικού θύλακα.

Οι χιαστοί σύνδεσμοι αποτελούνται από: α) τον πρόσθιο χιαστό σύνδεσμο, ο οποίος εκφύεται από τον πρόσθιο μεσογλήνιο βόθρο με φορά προς τα πάνω, πίσω, έξω και καταφύεται στη μεσοκονδύλιο επιφάνεια του έξω κονδύλου και β) τον οπίσθιο χιαστό σύνδεσμο, ο οποίος εκφύεται από τον οπίσθιο μεσογλήνιο βόθρο με φορά προς τα πάνω, εμπρός, έσω και καταφύεται στη μεσοκονδύλιο επιφάνεια του έσω κονδύλου.

(Moore, 2016)



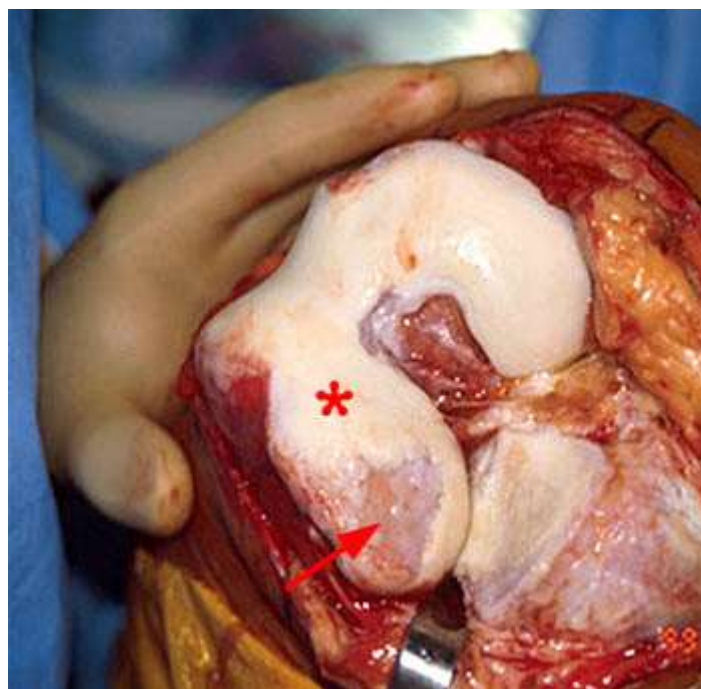
Εικόνα 4: Ανατομία γονάτου, σύνδεσμοι /πηγή/:

<https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/8969/LemoniaAikaterini2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

2.2 Παθολογίες του Γονάτου

Η οστεοαρθρίτιδα είναι μία χρόνια, προοδευτική νόσος των αρθρώσεων του σώματος, στην οποία παρατηρείται προοδευτική αλλοίωση του χόνδρου της άρθρωσης και η αλλοίωση αυτή ακολουθείται από ανάπτυξη ενός νέου χόνδρου στις άκρες των αρθρώσεων (οστεόφυτα). Η οστεοαρθρίτιδα έχει ως αποτέλεσμα τον οξύ πόνο και μεταγενέστερα την απώλεια λειτουργίας της άρθρωσης σε μεγάλο ποσοστό ασθενών. Η οστεοαρθρίτιδα διαφέρει από την απλή φθορά που μπορεί να υποστεί ένας καταπονημένος οργανισμός, καθώς έχει ασύμμετρη κατανομή και εντοπίζεται πολύ συχνά σε ένα μόνο διαμέρισμα της άρθρωσης. Έχει παρατηρηθεί ότι σχετίζεται με παθολογικά φορτία και όχι τόσο σε φθορά από τριβή. Παρόλο που παρατηρούνται ορισμένες φορές σημεία φλεγμονής, η οστεοαρθρίτιδα δεν είναι φλεγμονώδους αιτιολογίας. Είναι μία πάθηση η οποία παρουσιάζει στον ίδιο χρόνο χαρακτηριστικά τόσο καταστροφής όσο και επιδιόρθωσης.

(Joern,2010)



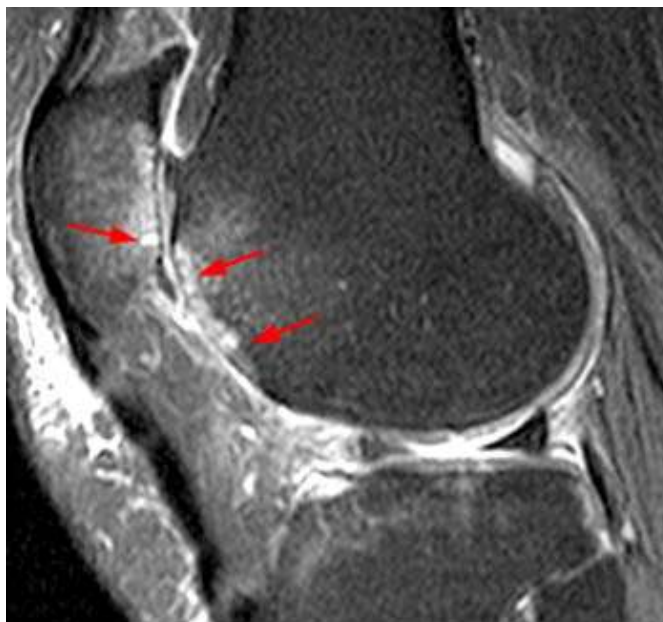
Εικόνα 5: Οστεοαρθρίτιδα, με απώλεια αρθρικού χόνδρου τόσο σε μηριαίες όσο και σε κνήμες πτυχές, με αποτέλεσμα την έκθεση το αγγειοποιημένο υποκείμενο οστό (βέλος)/πηγή/:

<https://radsourc.us/osteoarthritis-oa-of-the-knee/>

2.2.1 Οστεοαρθρίτιδα

Η οστεοαρθρίτιδα ([Εικόνα 5](#)) είναι η πιο κοινή ασθένεια των αρθρώσεων σε ενήλικες σε όλο τον κόσμο. Προσβάλλει κυρίως το γόνατο, το ισχίο, τις αρθρώσεις του χεριού και την σπονδυλική στήλη και παρατηρείται και στα δύο φύλα άνδρες και γυναίκες. Η πιθανότητα ανάπτυξης οστεοαρθρίτιδας αυξάνεται με την ηλικία. Η παχυσαρκία είναι ακόμα μία συνηθισμένη αιτία ανάπτυξης οστεοαρθρίτιδας. Οι σύγχρονες μελέτες έχουν δείξει ότι η οστεοαρθρίτιδα του γόνατος σε άνδρες ηλικίας 60 έως 64 είναι συχνότερη στο δεξί γόνατο (23%) από ότι στο αριστερό γόνατο (16,3%), ενώ η κατανομή του φαίνεται να είναι πιο ομοιόμορφα ισορροπημένη στις γυναίκες (δεξί γόνατο, 24,2% στο αριστερό γόνατο, 24,7%) . Η εμφάνιση της οστεοαρθρίτιδας του γόνατος είναι υψηλότερος μεταξύ των 70 έως 74 ετών, φθάνοντας μέχρι και 40% . Στην περίπτωση που η διάγνωση βασίζεται μόνο σε κλινικά σημεία και συμπτώματα, ο επιπολασμός μεταξύ των ενηλίκων διαπιστώνεται ότι είναι χαμηλότερος, στο 10%. Περίπου το 15% των ασθενών με ακτινολογικά αποδεδειγμένη οστεοαρθρίτιδα γόνατος παραπονιούνται για πόνο στο γόνατο. Η συχνότητα εμφάνισης της διαταραχής σε άτομα άνω των 70 ετών αυξάνεται κατά 1% ετησίως.

Επιδημιολογικές μελέτες έχουν αποκαλύψει ότι υπάρχουν τόσο ενδογενείς όσο και εξωγενείς παράγοντες κινδύνου για την οστεοαρθρίτιδα. Οι γενετικοί παράγοντες παίζουν αναμφισβήτητο ρόλο σε αυτό. Σε αρκετά λιγότερες περιπτώσεις, ωστόσο, μπορεί η οστεοαρθρίτιδα να αποδοθεί στην επίδραση ενός μόνο γονιδίου. Η ανάπτυξη και η εξέλιξή του είναι πιο πιθανό να οφείλονται σε αλληλεπίδραση μεταξύ πολλαπλών γονιδίων, σε συνδυασμό με περαιτέρω παράγοντες κινδύνου. Μελέτες έχουν δείξει ότι ο κίνδυνος οστεοαρθρίτιδας του γόνατος είναι 1,9 έως 13,0 φορές υψηλότερος μεταξύ των υπόγειων ανθρακωρύχων. Πιθανώς, ο κύριος παράγοντας κινδύνου σε αυτό το είδος επαγγέλματος είναι η πολύ συχνή εργασία σε γονατιστή στάση του σώματος. Επίσης, Οι εργαζόμενοι στις κατασκευές, έχουν σημαντικά αυξημένο επιπολασμό της οστεοαρθρίτιδας του γόνατος. Το υπερβολικό βάρος αποδείχθηκε σύμφωνα με μία άλλη επιδημιολογική μελέτη ως παράγοντα κινδύνου για οστεοαρθρίτιδα του γόνατος.



Εικόνα 6: Απεικόνιση, μέσω μαγνητικής τομογραφίας, της οστεοαρθρίτιδας του γόνατος /πηγή/:

<https://radsourc.us/osteoarthritis-oa-of-the-knee/>

2.2.2 Άλλες Παθολογίες

Άλλες παθήσεις που συναντάμε συχνά στις αρθρώσεις του γόνατου είναι παθήσεις του μυελού των οστών του γόνατου όπως παραδείγματος χάρη το οίδημα του μυελού των οστών. Ο μυελός των οστών είναι μια λιπαρή ουσία που συναντάται στο κέντρο των οστών του οργανισμού και συμβάλει στην παραγωγή νέων αιμοσφαιρίων. Στο οίδημα του μυελού των οστών έχουμε μια συνθήκη όπου η περίσσεια υγρών στον μυελό των οστών συσσωρεύεται και προκαλεί οίδημα. Το οίδημα αυτό παρατηρείται συχνότερα στα κάτω άκρα. Συχνά προκαλείται από μία ανταπόκριση σε τραυματισμό, όπως σπασμένο οστό και μελάνιασμα ή ακόμα και τραυματισμοί στον μηνίσκο και του συνδέσμους, όπου προκαλούνται αυξημένα επίπεδα υγρών εντός της άρθρωσης του γόνατος από φλεγμονή και οίδημα που προκύπτουν από τον αρχικό τραυματισμό. Ακόμα προκαλείται από πιο χρόνιες καταστάσεις όπως η οστεοπόρωση και η ρευματοειδής αρθρίτιδα. Το οίδημα του γόνατος του μυελού των οστών είναι κύρια αιτία τοπικού πόνου στο γόνατο και στις αρθρώσεις και έχει συσχετιστεί με την παρουσία και την εξέλιξη της οστεοαρθρίτιδας στο γόνατο, η οποία μπορεί να προκαλέσει περαιτέρω πόνο στο γόνατο, δυσκαμψία, πρήξιμο, αδυναμία και δυσκολία στην εκτέλεση καθημερινών εργασιών. Το οίδημα του μυελού των οστών

συνδέεται επίσης έντονα με φλεγμονώδεις αυτοάνοσες καταστάσεις που επιτίθενται στις αρθρώσεις. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για τη διάγνωση του οιδήματος του μυελού των οστών ([Εικόνα 7](#)) είναι μέσω του μαγνητικού συντονισμού, ο οποίος παράγει εικόνα των οστών που παρουσιάζει σημαντική αντίθεση στην ένταση μεταξύ των κυττάρων που εμφανίζουν διαφορετική περιεκτικότητα σε λιπαρά και νερό.

(Zanetti 2000),(Kornaat 2007),(Zhao 2017)



Εικόνα 7: Οίδημα του μυελού των οστών του γόνατος /πηγή/: <https://www.verywellhealth.com/bone-marrow-edema-knee-5113110>

2.3 Μαγνητική Τομογραφία και απεικόνιση γόνατος

2.3.1 Απεικονιστικές Μέθοδοι

Για την απεικόνιση του γόνατος μπορούμε να αξιοποιήσουμε διάφορες απεικονιστικές μεθόδους όπως για παράδειγμα τον ακτινογραφικό έλεγχο που θεωρείται η απλούστερη επιλογή, την αξονική τομογραφία και την μαγνητική τομογραφία.

Η απλή ακτινογραφία βοηθά στην περίπτωση διάγνωσης της οστεοαρθρίτιδας καθώς μπορεί να απεικονίσει την ύπαρξη οστεοφύτων και χονδρασβετώσεων. Στην περίπτωση της αξονικής τομογραφίας (CT) βασιζόμαστε στην απορρόφηση των ακτινών X από τους ιστούς του σώματος. Κατά την πρόσπτωση των ακτίνων-X πάνω σε ένα υλικό, ένα μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται από το υλικό αυτό. Το μέγεθος της απορρόφησης των ακτινών X εξαρτάται από παράγοντες όπως το πάχος και η φύση του υλικού, καθώς επίσης και από το μήκος κύματος της ακτίνας. Όταν οι ακτίνες-X διαπερνούν το σώμα, η απορρόφηση των ακτινών αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση του μήκους κύματος της ακτινοβολίας. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας X μέσα στο υλικό είναι μεγαλύτερη για μεγαλύτερο πάχος του υλικού. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιούμε παχιά μεταλλικά φύλλα μόλυβδου που συμβάλουν στην κατάλληλη θωράκιση από τις ακτίνες X . Ο συνδυασμός χαμηλού κόστους και μεγάλου ατομικού αριθμού, επομένως και μεγαλύτερης απορρόφησης, είναι ο κύριος λόγος που επιλέγουμε το υλικό του μολύβδου. Η αξονική τομογραφία βασίζεται στη μέθοδο μαθηματικής ανακατασκευής της εικόνας και απεικόνισης των εσωτερικών δομών του σώματος, κατόπιν επεξεργασίας των δεδομένων από πολλαπλές προβολές του. Έτσι, αντικείμενα δύο διαστάσεων, όπως είναι οι τομές του ανθρώπινου σώματος, μπορούν να ανακατασκευαστούν από μονοδιάστατες προβολές σε πολλαπλές κατευθύνσεις επάνω στο επίπεδο κάθε τομής. Το βασικό χαρακτηριστικό λοιπόν αυτής της μεθόδου που της δίνει μεγάλες δυνατότητες στην ιατρική διάγνωση είναι η μεγάλη ευαισθησία της σε μικρές μεταβολές του συντελεστή εξασθένησης μ , των μαλακών ιστών του ανθρώπινου οργανισμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την διάκριση του λίπους από την πρωτεΐνη σε αντίθεση με την απλή ακτινογραφία όπου ο ιστός φαίνεται σχετικά ομοιόμορφος. Η ευαισθησία της αξονικής τομογραφίας σε μεταβολές του μ είναι της τάξης του 0,5% η οποία έχει υπολογιστεί ότι είναι επαρκής

για τη διάκριση μεταξύ λίπους και πρωτεΐνης. Η αξονική τομογραφία βοηθά στην απεικόνιση της οστεοαρθρίτιδας και άλλων παθήσεων του γονάτου.

(Κανδαράκης, 2008)

Η μαγνητική τομογραφία (MRI) είναι μία τεχνική ιατρικής απεικόνισης που χρησιμοποιείται στην ακτινολογία για τον σχηματισμό εικόνων της ανατομίας και των φυσιολογικών διεργασιών του σώματος. Στην περίπτωση της μαγνητικής τομογραφίας δεν έχουμε χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας ή ακτινογραφιών, αλλά χρησιμοποιούνται ισχυρά μαγνητικά πεδία και ραδιοκύματα για την δημιουργία της ιατρικής εικόνας.

Η μαγνητική τομογραφία απεικονίζει παθήσεις των αρθρικών χόνδρων, οστικούς μώλωπες ή και οιδήματα μυελού των οστών. Χρησιμοποιείται ευρέως στην ανίχνευση αλλοιώσεων που προκαλούνται από οστεοαρθρίτιδα. Με την βοήθεια της μαγνητικής τομογραφίας επιτυγχάνουμε υψηλή αντίθεση μεταξύ του λίπους και της μυϊκής μάζας και επομένως καθίσταται δυνατή η λήψη πληροφοριών της φυσιολογίας του σώματος, όπως π.χ. διαφορές στην τοπική κατανομή του λίπους. Κάποιες από τις σημαντικές εφαρμογές της μεθόδου είναι, ο διαχωρισμός των κακοηθών από τους καλοήθεις όγκους, εφαρμογή με υψηλά ποσοστά επιτυχίας, καθώς και η αρκετά καλή απεικόνιση της κεφαλής, αφού τα οστά της, έχουν μικρή ποσότητα μορίων νερού και δε συμμετέχουν στο συντονισμό. Βασικό πλεονέκτημα της Μαγνητικής τομογραφίας αποτελεί το γεγονός ότι δε γίνεται χρήση ιονίζουσας ακτινοβολίας, όπως συμβαίνει στην Αξονική τομογραφία. Για αυτόν τον λόγο είναι εμφανής η προτίμηση στη χρήση της μαγνητικής έναντι της αξονικής τομογραφίας, καθώς, ο ασθενής δεν εκτίθεται σε ακτίνες X (ιονίζουσα ακτινοβολία) όπως συμβαίνει στην αξονική τομογραφία που κατά κανόνα δε συνιστάται, αν και η μέση δόση ακτινοβολήσης είναι σχετικά μικρή. Στην περίπτωση της μαγνητικής τομογραφίας ο εξεταζόμενος εκτίθεται σε μαγνητικό πεδίο και σε ραδιοκύματα, για τα οποία δεν έχουν υπάρξει, μέχρι τώρα, ενδείξεις αρνητικών παρενεργειών στον ανθρώπινο οργανισμό.

(Λεμονιά, 2018)

2.3.2 Ακολουθίες μαγνητικής τομογραφίας

Ως ακολουθία μαγνητικής τομογραφίας ορίζουμε τον αριθμό των παλμών των ραδιοσυχνοτήτων που οδηγούν σε ένα σύνολο εικόνων με συγκεκριμένη εμφάνιση. Το πλήθος των ακολουθιών που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι αρκετά μεγάλο για αυτό και τους κατηγοριοποιούμε ανάλογα την επίδραση που έχει κάθε ακολουθία στην εμφάνιση των ιστών. Στο μυοσκελετικό σύστημα, άρα και στα γόνατα χρησιμοποιείται πολύ συχνά η καταστολή του λίπους η οποία συμβάλει στην ανάδειξη κακώσεων του μυελού των οστών αλλά και στον χαρακτηρισμό της παθολογίας. Παράλληλα έχουμε μειωμένα τεχνικά σφάλματα και σημαντική βελτίωση του λόγου σήματος προς θόρυβο. Για το λόγο αυτό στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε η ακολουθία Proton Density fast spin eco με καταστολή λίπους.

Η ακολουθία Proton Density είναι ιδανική στην αξιολόγηση αρθρώσεων γιατί προσφέρει άριστη διάκριση σημάτων μεταξύ των ρευστών και των χόνδρων. Συγκεκριμένα υγρά όπως τα υγρά των αρθρώσεων παρουσιάζουν υψηλή ένταση σήματος και εμφανίζονται με φωτεινό χρώμα στην εικόνα. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουμε υψηλή πυκνότητα πρωτονίων άρα και μεγάλη συνιστώσα εγκάρσιας μαγνήτισης. Στην αντίθετη περίπτωση όπου έχουμε χαμηλή πυκνότητα πρωτονίων, οι μύς, οι χόνδροι και το λίπος παρουσιάζουν χαμηλή ένταση σήματος και εμφανίζονται με σκοτεινό χρώμα.

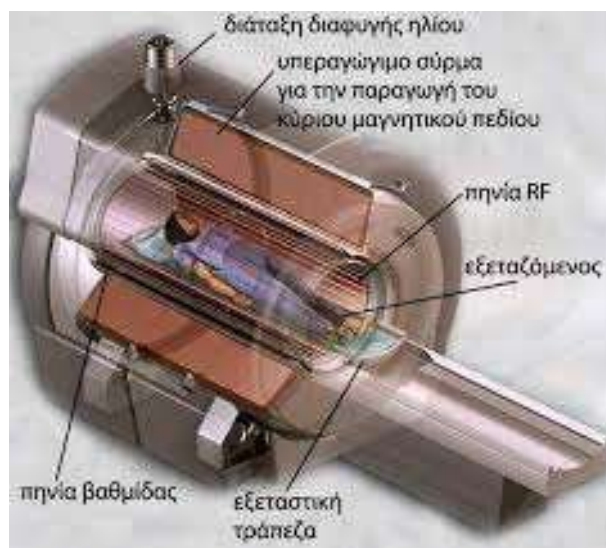
(radiopaedia)

2.3.3 Οργανολογία μαγνητικού τομογράφου

Οι μαγνητικοί τομογράφοι που βρίσκονται διαθέσιμοι στο εμπόριο ποικίλουν ως προς τις δυνατότητες και τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά. Για όλα τα συστήματα παρόλα αυτά υπάρχει μια βασική συνιστώσα που ονομάζεται μαγνήτης. Ο μαγνήτης παράγει το στατικό πεδίο. Υπάρχουν τρεις τύποι μαγνητών που χρησιμοποιούνται σήμερα :

- I. Οι μόνιμοι μαγνήτες
- II. Οι υπεραγώγιμοι μαγνήτες
- III. Οι μαγνήτες αντιστάσεως

Οι μόνιμοι μαγνήτες κατασκευάζονται από μαγνητικό υλικό, συνήθως κράμα κοβαλτίου με σπάνιες γαίες, ενώ οι υπεραγωγιμοί και οι μαγνήτες αντιστάσεων αποτελούνται από πηνία ή σωληνοειδή που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Συγκεκριμένα στην περίπτωση των υπεραγωγιμων μαγνητών επιλέγεται το υλικό κατασκευής τους με τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζει το φαινόμενο της υπεραγωγιμότητας, δηλαδή το φαινόμενο κατά το οποίο συμβαίνει μηδενισμός της ηλεκτρικής αντίστασης σε χαμηλές θερμοκρασίες (χαμηλότερες από μια ορισμένη τιμή, που διαφέρει για κάθε υλικό). Επιπρόσθετα, πέρα από τον βασικό μαγνήτη ένα σύστημα απεικόνισης αποτελείται από τρία είδη πηνίων, τα πηνία βαθμίδας, τα πηνία εξομάλυνσης και τα πηνία RF.

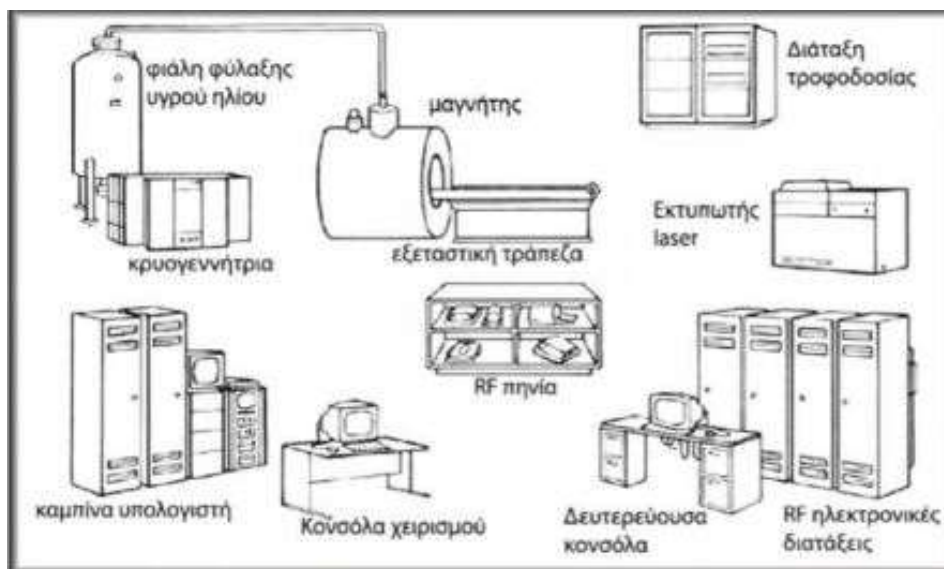


Εικόνα 8: τα δομικά συστατικά του μαγνητικού τομογράφου/πηγή/: <https://hellenic-college.gr/works/helcolpedia/projects/medicine/diagnosis/magnitikos-tomografos-miteloudis-2013.pdf>

Επιπλέον ένα απεικονιστικό σύστημα μαγνητικής τομογραφίας αποτελείται από ηλεκτρονικό υπολογιστή υψηλών επιδόσεων, όπου ο υπολογιστής αυτός έχει ως βασική αποστολή την ταχεία ανακατασκευή των εικόνων, και επίσης αποτελείται από μια σειρά ηλεκτρονικών διατάξεων, και πιο συγκεκριμένα από τον πομπό και τον δέκτη καθώς και διάφορους αναλογικο-ψηφιακούς μετατροπείς με στόχο την μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Ως βασικό σώμα (gantry) του μαγνητικού τομογράφου ορίζεται το σύστημα του μαγνήτη μαζί με τα διάφορα πηνία. Συνήθως έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπίπεδου, με ένα άνοιγμα σε μορφή

σήραγγας (από το οποίο εισέρχεται ο εξεταζόμενος) στο μέσον της πρόσοψής του. Αυτό το άνοιγμα είναι μεγαλύτερο στα συστήματα ανοικτών μαγνητών. Σε αυτά τα συστήματα το βασικό σώμα του μαγνητικού τομογράφου μπορεί να έχει τη μορφή δύο κυλινδρικών δακτυλίων. Ανάμεσα στους δακτυλίους υπάρχει επαρκής χώρος ώστε να διευκολύνονται επεμβατικές διεργασίες (σε χώρους χειρουργείου). Ως χώρος εξέτασης ορίζεται ο κατάλληλα διαμορφωμένος χώρος που στεγάζεται το βασικό σώμα του μηχανήματος.

(Κανδαράκης, 2008)



Εικόνα 9: Κύρια τμήματα της εγκατάστασης ενός απεικονιστικού συστήματος μαγνητικού συντονισμού/πηγή/: Ιωάννης Κανδαράκης, Αναστάσιος Καρατόπης (2007). Ιατρική Φυσική-Βιοϊατρική τεχνολογία, Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού.

2.4 Επεξεργασία Εικόνας

2.4.1 MATLAB

Το Matlab είναι μία σύγχρονη γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου που χρησιμοποιείται σε πανεπιστημιακά μαθήματα, καθώς και σε ερευνητικές εφαρμογές για την επίλυση σύνθετων μαθηματικών προβλημάτων. Το όνομα του προέρχεται από τα αρχικά γράμματα των λέξεων **Matrix Laboratory**. Όπως υποδηλώνει και το όνομα του το Matlab είναι ειδικά σχεδιασμένο για υπολογισμούς με πίνακες και επιπλέον περιλαμβάνει πολλές επιλογές για κατασκευή γραφικών παραστάσεων και έτοιμα προγράμματα γραμμένα στην δική του γλώσσα προγραμματισμού. Περιλαμβάνει μεταξύ άλλων, το παράθυρο εντολών (Command window), όπου εκτελούνται εντολές άμεσα με το πάτημα του πλήκτρου νέας γραμμής (Enter) , το παράθυρο εισαγωγής κειμένου (Editor window) όπου ο προγραμματιστής γράφει αρχεία εντολών. Όλες οι μεταβλητές που έχουν χρησιμοποιηθεί από την στιγμή εκκίνησης του Matlab αποθηκεύονται σε χώρο μνήμης και αποτελούν ένα δευτερεύων παράθυρο που ονομάζεται χώρος εργασίας (Workspace).

(Μήτρον, 2015) (Γεωργίου, 2017)

2.4.2 Ψηφιακή Εικόνα

Μία εικόνα μπορεί να οριστεί ως μία συνάρτηση δύο διαστάσεων $f(x,y)$, όπου οι μεταβλητές x και y είναι οι χωρικές συντεταγμένες (ή συντεταγμένες επιπέδου) , ενώ το πλάτος της συνάρτησης f για συντεταγμένες (x,y) ονομάζεται ένταση της εικόνας σε αυτό το σημείο. Στην περίπτωση που οι τιμές των x και y καθώς και οι τιμές της έντασης της συνάρτησης f είναι πεπερασμένες και διακριτές ποσότητες, τότε η εικόνα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ψηφιακή εικόνα. Εικονοστοιχεία (pixels) ή στοιχεία εικόνας ονομάζεται το πεπερασμένο πλήθος στοιχείων μιας ψηφιακής εικόνας και τα οποία χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη θέση και τιμή.

(Gonzalez R.C,2017)

2.4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της εικόνας

Με τον όρο ποιότητα διαγνωστικής εικόνας αναφερόμαστε στην ποσότητα χρήσιμων διαγνωστικών πληροφοριών που υπάρχουν σε μία εικόνα σε σχέση πάντα με τον θόρυβο, αλλά και στην ευκολία με την οποία διακρίνουμε και εξάγουμε αυτές τις πληροφορίες. Ένας βασικός ρόλος της ποιότητας της εικόνας των συστημάτων μαγνητικού συντονισμού είναι η χρονική διάρκεια της εξέτασης. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια της εξέτασης, τόσο καλύτερη είναι και η ποιότητα της εικόνας. Η ποιότητα της εικόνας εκφράζεται συνολικά μέσω φυσικών παραμέτρων και των τιμών αυτών που συνήθως αναφέρονται ως παράμετροι εικόνας ή απεικονιστικά μεγέθη. Κάποια από αυτά τα μεγέθη είναι η αντίθεση εικόνας, η χωρική διακριτική ικανότητα και ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR).

(Gonzalez R.C.,2017)

3. Μεθοδολογία

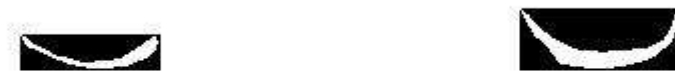
3.1 Δεδομένα – Υλικό

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία αποτελείται από εικόνες μαγνητικής τομογραφίας και αφορά εξέταση στην περιοχή του γόνατος και πιο συγκεκριμένα, περιοχές ενδιαφέροντος του έσω μηριαίου κονδύλου για δύο ανατομικά επίπεδα το οβελιαίο και το στεφανιαίο επίπεδο. Η εξέταση έλαβε χώρα στον Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο της Λάρισας και σε αυτήν υποβλήθηκαν ενήλικες ασθενείς και των δύο φύλων. Ο μαγνητικός τομογράφος που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη των εξετάσεων είναι κοινός για όλους τους εξεταζόμενους και είναι ο Signa HDxt με ισχύ 3,0T με τετραπλό πηνίο γόνατος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση αξιοποιήθηκαν μόνο οι εικόνες από την ακολουθία Proton-density, καθώς αυτή είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη ακολουθία στο χόνδρο του γόνατος.

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν ενδεικτικά περιπτώσεις υγείων και παθολογικών εικόνων για τα δύο ανατομικά επίπεδα. Στην αριστερή πλευρά συναντάμε περιπτώσεις εικόνων χωρίς κάποια παθολογία, ενώ στην δεξιά πλευρά συναντάμε περιπτώσεις εικόνων με παθολογία.



Εικόνες 10+11:Οβελιαίο επίπεδο(sagittal). Αριστερά: φυσιολογική εικόνα, Δεξιά: εικόνα με παθολογία /πηγή/: Matlab



Εικόνα 12+13: Στεφανιαίο επίπεδο(coronal). Αριστερά: φυσιολογική εικόνα, Δεξιά: εικόνα με παθολογία /πηγή/: Matlab

3.2 Χαρακτηριστικά Υφής

Η υφή μιας εικόνας εκφράζεται από τη χωρική κατανομή των χρωμάτων ή των τόνων του γκρι στην εικόνα. Οι πληροφορίες που εξάγονται από αυτήν ονομάζονται χαρακτηριστικά υφής. Κάποια από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η ομαλότητα, η τραχύτητα και η ύπαρξη κανονικοτήτων. Τα χαρακτηριστικά υφής είναι μεγέθη που υπολογίζονται άμεσα ή έμμεσα από τους τόνους του γκρι της εικόνας και ποσοτικοποιούν την έννοια της υφής.

- Στατιστικά χαρακτηριστικά υφής:

Εδώ έχουμε στατιστικά μεγέθη που υπολογίζονται με χρήση των τόνων του γκρι της εικόνας. Αποτελεί την απλούστερη και συνηθέστερη περίπτωση και χρησιμοποιείται πολύ συχνά στις ιατρικές εικόνες.

- Δομικά χαρακτηριστικά υφής:

Όπου έχουμε δημιουργία υφής της εικόνας μέσω επαναλήψεων ενός βασικού στοιχείου υφής, π.χ. σε εικόνες που έχουν δημιουργηθεί με τεχνητό τρόπο μέσω υπολογιστή.

- Φασματικά χαρακτηριστικά υφής:

Εδώ έχουμε ποσότητες που υπολογίζονται με την βοήθεια της συχνότητας της εικόνας και σχετίζονται με την εμφάνιση περιοδικότητας μορφών στην εικόνα. Εδώ

συμπεριλαμβάνονται και τα χαρακτηριστικά από κυματίδια , που σχετίζονται επιπλέον και με τη θέση των συχνοτήτων στην εικόνα.

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά υφής χωρίζονται σε δύο τάξεις και υπολογίζονται χρησιμοποιώντας το ιστόγραμμα των τόνων του γκρι για τα 1ης τάξης χαρακτηριστικά υφής και τους πίνακες συνεμφάνισης και μήκους διαδρομής τόνων του γκρι για τα 2ης τάξης χαρακτηριστικά υφής.

Τα στατιστικά χαρακτηριστικά που βασίζονται στην ένταση περιγράφουν τον τρόπο κατανομής των εντάσεων εντός της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI).

Το σύνολο των εντάσεων των N_v εικονοστοιχείων που περιλαμβάνονται στη περιοχή έντασης ROI υποδηλώνεται ως: $X_{gl} = \{X_{gl,1}, X_{gl,2}, \dots, X_{gl,N_v}\}$.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα υπολογιστούν τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Μέση τιμή Έντασης (Mean Intensity) = $\frac{1}{N_v} \sum_{k=1}^{N_v} X_{gl,k}$

Είναι ο μέσος όρος των τιμών της έντασης των τόνων του γκρι.

2. Τυπική Απόκλιση Έντασης (Standard deviation Intensity) = $\frac{1}{N_v} \sum_{k=1}^{N_v} (X_{gl,k} - \mu)^2$

Είναι η διασπορά των τόνων του γκρι της Έντασης της εικόνας από την μέση τιμή τους (μ).

3. Ασυμμετρία Έντασης (Intensity skewness) = $\frac{\frac{1}{N_v} \sum_{k=1}^{N_v} (X_{gl,k} - \mu)^3}{\left(\frac{1}{N_v} \sum_{k=1}^{N_v} (X_{gl,k} - \mu)^2\right)^{3/2}}$

Εδώ αν η τυπική απόκλιση έντασης είναι ίση με το μηδέν τότε και η ασυμμετρία έντασης είναι ίση με το μηδέν.

Το μ συμβολίζει την μέση τιμή της έντασης.

4. Κύρτωση Έντασης (Intensity kurtosis) = $\frac{\frac{1}{N_v} \sum_{k=1}^{N_v} (X_{gl,k} - \mu)^4}{\left(\frac{1}{N_v} \sum_{k=1}^{N_v} (X_{gl,k} - \mu)^2\right)^2} - 3$

Εδώ η Κύρτωση διορθώνεται μέσω του στατιστικού τεστ Fisher (-3) και κεντράρεται στο μηδέν για κανονικές κατανομές.

Αν η τυπική απόκλιση έντασης είναι ίση με το μηδέν τότε και η κύρτωση έντασης είναι ίση με το μηδέν. Το μ συμβολίζει την μέση τιμή της έντασης.

5. Διάμεση Ένταση (Median Intensity) = είναι το διάμεσο δείγμα του X_{gl} .
6. Ελάχιστη Ένταση (Minimum Intensity) = με την χαμηλότερη ένταση που παρατηρείται στο X_{gl} .
7. Μέγιστη Ένταση (Maximum Intensity) = με την υψηλότερη ένταση που παρατηρείται στο X_{gl} .
8. Εκατοστημόριο 10^{ης} Έντασης (10th Intensity percentile) P_{10} = το 10^ο εκατοστημόριο του X_{gl} . Είναι μια πιο στιβαρή εναλλακτική λύση στην ελάχιστη ένταση.
9. Εκατοστημόριο 90^{ης} Έντασης (90th Intensity percentile) P_{90} = το 90^ο εκατοστημόριο του X_{gl} . Είναι μια πιο στιβαρή εναλλακτική λύση στην μέγιστη ένταση.
10. Ενδοτεταρτημόριακο εύρος έντασης (Intensity interquartile range) = $P_{75} - P_{25}$, τα οποία είναι το 25^ο και το 75^ο εκατοστημόριο του X_{gl} αντίστοιχα.
11. Εύρος έντασης (Intensity Range) = $\max(X_{gl}) - \min(X_{gl})$, δηλαδή η υψηλότερη ένταση μείον την χαμηλότερη ένταση του X_{gl} .
12. Μέση απόλυτη απόκλιση με βάση την ένταση (Intensity-based mean absolute deviation) = $\frac{1}{N_v} \sum_{k=1}^{N_v} |X_{gl,k} - \mu|$
Είναι ένα μέτρο διασποράς από τον μέσο όρο του X_{gl} .
Το μ συμβολίζει την μέση τιμή της έντασης.
13. Διάμεση απόλυτη απόκλιση με βάση την ένταση (Intensity-based median absolute deviation) = $\frac{1}{N_v} \sum_{k=1}^{N_v} |X_{gl,k} - M|$
Το M συμβολίζει την διάμεση τιμή της έντασης
Είναι παρόμοια με την με την μέση απόλυτη τιμή της έντασης με την διαφορά ότι ο υπολογισμός γίνεται με βάση την διάμεση τιμή της έντασης.
14. Συντελεστής διακύμανσης βάσει της έντασης (Intensity-based coefficient of variation) = $\frac{\sigma}{\mu}$

Ο συντελεστής διακύμανσης μετρά τη διασπορά του X_{gl} . Το μ συμβολίζει την μέση τιμή της έντασης και το σ την τυπική απόκλιση της έντασης.

15. Συντελεστής διασποράς τεταρτημόριου με βάση την ένταση (Intensity-based quartile coefficient of dispersion) = $\frac{P_{75} - P_{25}}{P_{75} + P_{25}}$

Ο συντελεστής διασποράς του τεταρτημόριου είναι μια πιο ισχυρή εναλλακτική λύση του συντελεστή διακύμανσης που βασίζεται στην ένταση.

Τα P_{75} , P_{25} είναι το 75^ο και το 25^ο εκατοστημόριο του X_{gl} αντίστοιχα.

16. Ενέργεια με βάση την Ένταση (Intensity-based Energy) = $\sum_{k=1}^{N_v} X_{gl,k}^2$
(Collewet,2004)

17. Εντροπία (Entropy) = $-\sum p(i, j) * \log(p(i, j))$

Αποδίδει το Μέτρο του βαθμού αταξίας ή τυχειότητας της κατανομής των ζευγών των τόνων του γκρι μιας εικόνας.

(R.C. Gonzalez, 2001)

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών 1^{ης} τάξης είναι ο εξής:

`k = 1;`

`f(k) = mean(roi_vector); k = k+1; %1 Mean Intensity`

`f(k) = std(roi_vector); k = k+1; %2 Intensity Standard Deviation`

`f(k) = skewness(roi_vector); k = k+1; %3 Intensity Skewness`

`f(k) = kurtosis(roi_vector); k = k+1; %4 Intensity Kurtosis`

`f(k) = median(roi_vector); k = k+1; %5 Median intensity`

`f(k) = min(roi_vector); k = k+1; %6 Minimum intensity`

`f(k) = prctile(roi_vector,10); k = k+1; %7 10th intensity percentile`

`f(k) = prctile(roi_vector,90); k = k+1; %8 90th intensity percentile`

$f(k) = \max(\text{roi_vector}); \quad k = k+1; \quad \%9 \text{ Maximum intensity}$

$f(k) = \text{iqr}(\text{roi_vector}); \quad k = k+1; \quad \%10 \text{ Intensity interquartile range}$

$f(k) = f(9) - f(6); \quad k = k+1; \quad \%11 \text{ Intensity Range}$

$f(k) = \text{mad}(\text{roi_vector},0); \quad k = k+1; \quad \%12 \text{ Intensity-based mean absolute deviation}$

$f(k) = \text{mad}(\text{roi_vector},1); \quad k = k+1; \quad \%13 \text{ Intensity-based median absolute deviation}$

$f(k) = f(2)/f(1); \quad k = k+1; \quad \%14 \text{ Intensity-based coefficient of variation}$

$p75 = \text{prctile}(\text{roi_vector},75);$

$p25 = \text{prctile}(\text{roi_vector},25);$

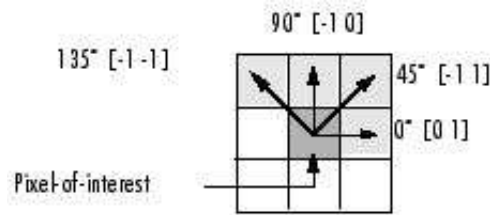
$f(k) = (p75 - p25)/(p75 + p25); \quad k = k+1; \quad \%15 \text{ Intensity-based quartile coefficient of dispersion}$

$f(k) = \text{sum}(\text{roi_vector}.^2); \quad k = k+1; \quad \%16 \text{ Intensity-based energy}$

$\text{roi}(\text{roi}<0)=0;$

$f(k) = \text{entropy}(\text{roi}); \quad \%17 \text{ Intensity-based Entropy}$

Τα 2ης τάξης χαρακτηριστικά υφής μας δίνουν πληροφορίες για την χωρική κατανομή των τόνων του γκρι σε μία εικόνα. Μπορούν να δημιουργηθούν από τον πίνακα συνεμφάνισης αλλά και από τον πίνακα μήκους διαδρομής τόνων του γκρι. Η μέθοδος που θα αξιολογηθεί και η οποία μπορεί να περιγράψει της ιδιότητες υφής είναι ο πίνακας συνεμφάνισης. Υπάρχουν 14 βασικά χαρακτηριστικά που υπολογίζονται από τον πίνακα συνεμφάνισης. Ο πίνακας συνεμφάνισης περιγράφει την συχνότητα με την οποία εμφανίζονται δύο γειτονικοί τόνοι του γκρι του πίνακα της εικόνας και μπορεί να υπολογιστεί στις 4 βασικές κατευθύνσεις 0° , 45° , 90° , 135° . Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην [Εικόνα 14](#) ο πίνακας είναι πάντα τετραγωνικός και το μέγεθος του εξαρτάται από τους τόνους του γκρι που εμπεριέχει. Για κάθε βασική κατεύθυνση μπορεί να υπολογιστεί και ο αντίστοιχος πίνακας συνεμφάνισης.



Εικόνα 14. Παράδειγμα διανυσμάτων που καθορίζουν την σχέση των εικονοστοιχείων./πηγή/: MATLAB.

Ας δούμε ένα παράδειγμα που εξηγεί όσα περιγράψαμε νωρίτερα. Έστω πίνακας $X(i,j)$ στον οποίο αναπαρίστανται οι τόνοι του γκρι της εικόνας:

0	0	1	1
0	0	1	1
0	2	2	2
2	2	3	3

Εικόνα 15. Παράδειγμα πίνακα τόνων του γκρι

Έστω τώρα ότι επιλέγουμε στην οριζόντια κατεύθυνση (0°) για να διαβάσουμε την εικόνα. Ο πίνακας συνεμφάνισης για αυτή την κατεύθυνση είναι:

0°			
4	2	1	0
2	4	0	0
1	0	6	1
0	0	1	2

Εικόνα 16. Παράδειγμα πίνακα συνεμφάνισης για διεύθυνση 0 μοιρών

Μας υπολογίζει δηλαδή την συχνότητα που εμφανίζονται γειτονικά εικονοστοιχεία με την ίδια τιμή χρώματος για τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις 0° και 0^{180} .

Υπολογίζουμε τους πίνακες συνεμφάνισης για να εξάγουμε χαρακτηριστικά υψής κάποια από τα οποία είναι τα εξής χαρακτηριστικά:

1. **Ενέργεια** (Energy) = $\sum p(i, j)^2$

Εκφράζει την ομοιογένεια στην εικόνα και οι τιμές που παίρνει είναι από 0 έως 1.

2. **Αντίθεση** (Contrast) = $\sum |i - j|^2 * p(i, j)^2$

Αποδίδει την ανομοιογένεια της εικόνας εξαιτίας διαφορών στη φωτεινότητα των εικονοστοιχείων.

3. **Συσχέτιση** (Correlation) = $\sum \frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)p(i, j)}{\sigma_i \sigma_j}$

Εκφράζει τον βαθμό συσχέτισης των εικονοστοιχείων της εικόνας.

Αποδίδει τιμές από -1 (αρνητική συσχέτιση) μέχρι 1 (θετική συσχέτιση).

4. **Ομοιογένεια** (Homogeneity) = $\sum \frac{p(i, j)}{1+|i-j|}$

Εκφράζει την γραμμική ομοιογένεια των τόνων του γκρι μιας εικόνας κατά μήκος της διεύθυνσης υπολογισμού του πίνακα P και παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1.

(R.C.Gonzalez, 2001)(Καλατζής, 2020)

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών 2^{ης} τάξης είναι ο εξής:

```
P0 = graycomatrix(roi,'GrayLimits',[],'NumLevels',Num_Tones,'Offset',[0 1]) +  
graycomatrix(flipdim(roi,2),'GrayLimits',[],'NumLevels',Num_Tones,'Offset',[0 1]);
```

```
P45 = graycomatrix(roi,'GrayLimits',[],'NumLevels',Num_Tones,'Offset',[-1 1]) +  
graycomatrix(rot90(roi,2),'GrayLimits',[],'NumLevels',Num_Tones,'Offset',[-1 1]);
```

```
P90 = graycomatrix(roi,'GrayLimits',[],'NumLevels',Num_Tones,'Offset',[-1 0]) +  
graycomatrix(flipdim(roi,1),'GrayLimits',[],'NumLevels',Num_Tones,'Offset',[-1 0]);
```

```
P135= graycomatrix(roi,'GrayLimits',[],'NumLevels',Num_Tones,'Offset',[-1 -1]) +  
graycomatrix(rot90(roi,2),'GrayLimits',[],'NumLevels',Num_Tones,'Offset',[-1 -1]);
```

```
f0 = graycoprops(P0); f90 = graycoprops(P90); f45 = graycoprops(P45); f135 =  
graycoprops(P135);
```

```
k = 1;
```

```
CON = [f0.Contrast f90.Contrast f45.Contrast f135.Contrast];
```

```
COR = [f0.Correlation f90.Correlation f45.Correlation f135.Correlation];
```

$ENR = [f0.Energy\ f90.Energy\ f45.Energy\ f135.Energy];$

$HMG = [f0.Homogeneity\ f90.Homogeneity\ f45.Homogeneity\ f135.Homogeneity];$

3.3 Κατανομές πιθανότητας – Έλεγχος υποθέσεων

Ο έλεγχος των υποθέσεων αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων για τις παραμέτρους ενός πληθυσμού, έχοντας ως βάση αναφοράς κατάλληλες στατιστικές συναρτήσεις που προέρχονται από τυχαία δείγματα. Στους ελέγχους υποθέσεων τα συμπεράσματα προκύπτουν από τη διαμόρφωση και τον έλεγχο συγκεκριμένων υποθέσεων που αφορούν τις πληθυσμιακές παραμέτρους.

Οι υποθέσεις στην Επαγωγική Στατιστική εκφράζουν με μαθηματικό τρόπο τις ερευνητικές υποθέσεις. Στατιστική υπόθεση ορίζεται μια μαθηματική πρόταση η οποία αφορά παραμέτρους πληθυσμών. Η αλήθεια της υπόθεσης αυτής ενδέχεται να ελεγχθεί με βάση τη στατιστική θεωρία από τα δεδομένα ενός τυχαίου δείγματος. Βέβαια δεν είναι πάντα δυνατόν να εκφραστούν με ποσοτικούς όρους οι ερευνητικές υποθέσεις ή επιπλέον μπορεί να απαιτούνται περισσότερες από μία στατιστικές υποθέσεις για να υποστηριχθεί μία ερευνητική υπόθεση.

Γενικότερα τα είδη των στατιστικών υποθέσεων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τη μηδενική υπόθεση (null hypothesis) και την εναλλακτική υπόθεση (alternative hypothesis). Η μηδενική υπόθεση είναι η υπόθεση την οποία ελέγχουμε. Χρησιμοποιώντας τη διαδικασία ελέγχου υποθέσεων μπορούμε να διαπιστώσουμε αν η μηδενική υπόθεση μπορεί να απορριφθεί ή όχι. Για να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση πρέπει τα δεδομένα του δείγματος να δείξουν ότι έχει πολύ μικρή πιθανότητα να είναι αληθινή. Στην περίπτωση που μπορεί να απορριφθεί, τότε δεχόμαστε ως αληθή την εναλλακτική υπόθεση. Η μηδενική υπόθεση συμβολίζεται με H_0 και διατυπώνεται σε αυτή το αντίθετο από αυτό που πιστεύουμε ότι συμβαίνει στην πραγματικότητα.

Στην συνέχεια θα αναφερθούμε συνοπτικά στις στατιστικές δοκιμές που μας ενδιαφέρουν και χρησιμοποιήθηκαν κατά την υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Η δοκιμή Lilliefors είναι ένα τεστ κανονικότητας που βασίζεται στη δοκιμή Kolmogorov-Smirnov. Πιο συγκεκριμένα την χρησιμοποιούμε στη δοκιμή της

μηδενικής υπόθεσης, δηλαδή ότι τα δεδομένα προέρχονται από έναν πληθυσμό με κανονική κατανομή, παρόλο που η μηδενική υπόθεση δεν προσδιορίζει την αναμενόμενη τιμή και την διακύμανση της κατανομής. Πήρε το όνομά της από τον Hubert Lilliefors, καθηγητή στατιστικής στο Πανεπιστήμιο George Washington.

Η παραπάνω δοκιμή εκτελείται με τον εξής τρόπο. Αρχικά γίνεται υπολογισμός της μέσης τιμής του πληθυσμού και της διακύμανσης του πληθυσμού με βάση τα δεδομένα. Στη συνέχεια, υπολογίζουμε τη μέγιστη απόκλιση μεταξύ της συνάρτησης κατανομής και της συνάρτησης αθροιστικής κατανομής της κανονικής κατανομής με την εκτιμώμενη μέση τιμή και εκτιμώμενη διακύμανση. Αυτό ονομάζεται στατιστικό στοιχείο δοκιμής.

Τελικά γίνεται αξιολόγηση κατά πόσον η μέγιστη απόκλιση είναι αρκετά μεγάλη για να είναι στατιστικά σημαντική, απαιτώντας έτσι την απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης.

(Hubert W. Lilliefors 2012)

Το Student's t-test είναι ένα τεστ στατιστικής υπόθεσης που χρησιμοποιείται πολύ συχνά όταν το στατιστικό στοιχείο δοκιμής ακολουθεί κανονική κατανομή και εάν η τιμή της παραμέτρου στο στατιστικό στοιχείο δοκιμής είναι γνωστή. Όταν η τιμή της παραμέτρου είναι άγνωστη αντικαθίσταται από μια εκτίμηση με βάση τα δεδομένα. Η δοκιμή t μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για παράδειγμα, για να προσδιοριστεί εάν τα μέσα δύο συνόλων δεδομένων διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους.

(Jeffrey N. Rouder 2009)

Η δοκιμή Wilcoxon, η οποία μπορεί να αναφέρεται είτε ως δοκιμή αθροίσματος κατάταξης (rank sum test) είτε ως δοκιμή υπογεγραμμένης κατάταξης (signed rank test), είναι μια μη παραμετρική στατιστική δοκιμή που συγκρίνει δύο ομάδες ζευγών. Οι δοκιμές υπολογίζουν ουσιαστικά τη διαφορά μεταξύ των συνόλων ζευγών και αναλύουν αυτές τους διαφορές για να διαπιστώσουν εάν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους.

(Bernard Rosner 2003)

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την στατιστική ανάλυση είναι ο παρακάτω:

```
alpha_val = 0.005; %0.01

X = [Class1 ; Class2];

Class_TEXT{1} = 'NORM'

Class_TEXT{2} = 'PATH';

TEXT          =          [ repmat(Class_TEXT{1},[size(Class1,1)          1]);
repmat(Class_TEXT{2},[size(Class2,1) 1])];

for j = 1:size(X,2)

    [h(j),p1] = lillietest(X(:,j),'alpha',0.05);

    if h == 1

        [h1(j) , p(j)] = ttest2(Class1(:,j),Class2(:,j),'alpha',alpha_val);

    else

        [p(j), h1(j)] = ranksum(Class1(:,j),Class2(:,j),'alpha',alpha_val);

    end

end

end
```


4. Αποτελέσματα

4.1 Αποτελέσματα από την εξαγωγή των χαρακτηριστικών υφής

Αρχικά εξαγάγαμε τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά από τις εικόνες που εμφάνισαν κάποιου είδους παθολογία και τις φυσιολογικές εικόνες. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα χαρακτηριστικά υφής εξάγονται από την μονοχρωματική εικόνα. Τα χαρακτηριστικά υφής 1ης τάξης εξάγονται από το ιστόγραμμα της μονοχρωματικής εικόνας ενώ της 2ης τάξης από τον πίνακα συνεμφάνισης των τόνων του γκρι. Για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων των χαρακτηριστικών υφής της 2ης τάξης χρησιμοποιήσαμε την έτοιμη συνάρτηση του Matlab, `graycomatrix`.

Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά υφής 1ης τάξης που εξήχθησαν είναι:

- Μέση τιμή Έντασης
- Τυπική απόκλιση Έντασης
- Ασυμμετρία Έντασης
- Κύρτωση Έντασης
- Εντροπία
- Διάμεση Ένταση
- Ελάχιστη Ένταση
- 10° Εκατοστημόριο Έντασης
- 90° Εκατοστημόριο Έντασης
- Μέγιστη Ένταση
- Εύρος Έντασης
- Μέση απόλυτη απόκλιση με βάση την ένταση
- Διάμεση απόλυτη απόκλιση με βάση την ένταση
- Ενέργεια Έντασης
- Συντελεστής διασποράς τεταρτημόριου με βάση την ένταση
- Συντελεστής διακύμανσης βάσει της έντασης
- Μεσοτεταρτημόριακο εύρος έντασης

Τα χαρακτηριστικά υφής 2^{ης} τάξης που εξήχθησαν είναι:

- Μέση Αντίθεση
- Εύρος Αντίθεσης
- Μέση Συσχέτιση
- Εύρος Συσχέτισης
- Μέση Ενέργεια
- Εύρος Ενέργειας
- Μέση Ομοιογένεια
- Εύρος Ομοιογένειας

Κατά την εξαγωγή των χαρακτηριστικών αυτών έγινε χρήση κατάλληλων εντολών του MATLAB έτσι ώστε να αφαιρέσουμε από τις προς επεξεργασία εικόνες τον αέρα που συνήθως απεικονίζεται με μαύρο χρώμα. Με την αφαίρεση αυτή του αέρα πετυχαίνουμε περισσότερο αληθή αποτελέσματα καθώς ο αέρας θα αύξανε πολύ περισσότερο τις τιμές μας. Επίσης για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών υφής 2^{ης} τάξης αξιοποιήσαμε τις παραμέτρους Numlevels και Offset του Matlab. Όσον αφορά το πρώτο συμβολίζει τον αριθμό των επιπέδων του γκρι και καθορίζεται ως ακέραιος αριθμός. Ο αριθμός αυτός καθορίζει το μέγεθος της μήτρας co-occurrence. Στην παρούσα διπλωματική έγιναν πειραματισμοί με ποικίλες τιμές του Numlevels και επιλέχθηκε η καταλληλότερη για τον συγκεκριμένο στατιστικό έλεγχο. Η παράμετρος offset συμβολίζει την απόσταση μεταξύ του εικονοστοιχείου που μας ενδιαφέρει και του γειτονικού του και καθορίζεται ως πίνακας ακεραίων. Κάθε γραμμή στον πίνακα είναι ένα διάνυσμα δύο στοιχείων [offset_γραμμής , offset_στήλης], που καθορίζει τη σχέση ή την μετατόπιση ενός ζεύγους εικονοστοιχείων.

Ακολουθούν πίνακες με τα αποτελέσματα από την εξαγωγή των χαρακτηριστικών. Οι πίνακες χωρίζονται στα δύο επίπεδα, οβελιαίο και στεφανιαίο και στο κάθε ένα επίπεδο υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ εικόνων με παθολογία και φυσιολογικών εικόνων.

Το χαρακτηριστικό της μέγιστης έντασης δεν εμφανίζεται στους ακόλουθους πίνακες, καθώς σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζει την ίδια τιμή (255) και εξαιρέθηκε από την από τους πίνακες αποτελεσμάτων.

Πίνακας 1. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1^{ης} για τις περιπτώσεις με παθολογία

Εικόνα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Median	Min	10 ^o prct	90 ^o prct
1	139	34,2	0,31	3,21	140	55	94,6	181
2	154	35,6	-0,18	2,51	159	58	104	197
3	148	33,5	-0,48	3,48	153	27	106	186
4	170	42,3	-0,54	2,50	178	32	109	220
5	132	41,2	0,16	2,73	132	34	82	185
6	140	36,9	0,02	3,15	145	45	92	183
7	129	34,2	0,69	3,75	128	45	88,7	178
8	189	32,8	-1,05	4,73	195	41	146	225
9	147	31,6	-0,62	3,74	151	34	104	182
10	154	35,1	-0,08	2,86	158	59	106,8	197
mean	150	35,7	-0,18	3,27	153,9	43	103,3	193,4
std	18	3,5	0,51	0,69	20,4	11,4	17,5	16,6

Πίνακας 2. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1^{ης} για τις περιπτώσεις με παθολογία

Εικόνα	IQR	Εύρος	Μέση απόκλιση	Διάμεση απόκλιση	Συντελεστής Διακύμανσης [0-1]	Συντελεστής διασποράς	Ενέργεια	Εντροπία
1	44,0	200	26,9	22	0,2	0,2	21572099	0,4
2	52,0	197	29,5	24	0,2	0,2	39240949	0,5
3	45,0	228	26,3	21	0,2	0,2	38154287	0,4
4	65,0	223	35,2	31	0,2	0,2	34935125	0,4
5	57,5	221	33,4	28	0,3	0,2	14342061	0,5
6	46,0	210	29,3	23	0,3	0,2	18884070	0,6
7	39,0	210	25,6	19	0,3	0,2	26411122	0,4
8	40,0	214	25,2	19	0,2	0,1	44467769	0,4
9	38,5	221	24,5	19	0,2	0,1	22716082	0,4
10	47,8	196	28,2	23	0,2	0,2	29625626	0,6
mean	47,5	212	28,4	22,9	0,2	0,2	29034919	0,5
Std	8,5	11	3,5	4,0	0,0	0,0	9899975,6	0,1

Πίνακας 3. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 2^{ης} για τις περιπτώσεις με παθολογία

Εικόν α	Contrast Mean	Contrast Range	Correlation Mean	Correlation Range	Energy Mean	Energy Range	Homogeneity Mean	Homogeneity Range
1	1,218	0,544	0,689	0,143	0,150	0,029	0,751	0,083
2	1,064	0,674	0,758	0,175	0,141	0,033	0,778	0,102
3	0,848	0,409	0,744	0,137	0,146	0,032	0,774	0,079
4	1,171	0,875	0,711	0,226	0,109	0,035	0,732	0,101
5	0,892	0,608	0,817	0,131	0,115	0,037	0,768	0,125
6	0,860	0,698	0,780	0,190	0,149	0,054	0,789	0,137
7	1,118	0,444	0,710	0,113	0,158	0,031	0,775	0,075
8	0,653	0,397	0,675	0,215	0,163	0,041	0,776	0,084
9	1,234	0,939	0,570	0,356	0,152	0,030	0,738	0,103
10	0,763	0,393	0,823	0,093	0,157	0,043	0,816	0,084
Mean	0,982	0,598	0,728	0,178	0,144	0,037	0,770	0,097
Std	0,205	0,198	0,075	0,076	0,018	0,008	0,025	0,020

Πίνακας 4. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1^{ης} για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία

Εικόνα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Median	Min	10 ^ο prct	90 ^ο prct
1	184	47,3	-1,0	3,4	195	41	112,0	234,0
2	174	39,6	-0,5	2,8	179	48	121,0	222,0
3	173	43,3	-0,7	2,9	183	10	110,0	223,0
4	142	35,8	0,1	2,7	140	40	97,0	192,1
5	170	46,0	-0,8	2,9	183	24	101,3	219,0
6	158	38,3	-0,3	2,7	162	24	105,0	205,0
7	195	33,6	-0,8	3,4	201	73	148,2	234,0
8	175	38,0	-0,4	2,7	179	33	122,2	222,0
9	153	51,8	-0,4	2,3	160	12	79,0	217,0
10	184	37,8	-0,6	2,8	191	68	130,0	228,0
11	178	40,2	-0,5	2,5	184	36	121,0	225,0
12	170	37,4	-0,7	2,8	179	38	114,0	210,4
13	157	48,0	-0,4	2,6	160	23	92,0	219,0
14	195	29,6	-0,5	3,0	197	103	155,5	230,0
15	119	32,4	0,2	3,0	118	32	78,0	158,0
16	168	40,1	-0,6	3,0	175	49	109,0	213,3
17	148	36,6	-0,3	2,3	156	52	96,0	191,0
18	185	36,0	-0,6	3,0	188	62	136,0	226,8
19	161	34,5	-0,2	2,8	162	52	116,0	205,3
20	166	41,1	-1,0	3,6	176	15	104,0	209,0
21	170	45,1	-0,4	2,2	176	45	105,0	224,6
22	185	30,9	-0,9	3,7	192	56	141,0	216,8
23	161	41,1	-0,5	2,6	166	42	100,0	209,2
24	146	39,7	0,2	2,5	144	48	97,0	200,0
25	159	35,8	-0,5	2,7	165	51	106,0	200,0
26	163	43,2	-0,3	2,6	164	26	106,0	218,0

27	154	43,1	-0,3	2,3	157	29	91,0	206,8
28	165	44,1	-0,8	3,8	168	9	109,0	215,0
29	159	42,4	-0,4	2,4	167	45	98,0	209,0
30	171	42,6	-0,2	2,2	174	51	117,0	227,9
31	159	41,3	-0,4	2,3	165	42	99,0	208,0
32	165	38,9	-0,5	2,6	170	45	109,0	209,4
33	169	40,0	-0,4	2,5	175	37	112,0	217,0
34	175	41,9	-0,8	3,2	184	25	115,0	223,0
35	167	42,0	-0,8	3,5	173	20	110,1	213,0
36	175	37,0	-0,8	3,7	181	43	120,2	217,0
Mean	167	39,9	-0,5	2,8	172	40	110,6	213,9
Std	15	4,8	0,3	0,5	17	19	16,9	14,3

Πίνακας 5. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1^{ης} για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία

Εικόνα	IQR	Εύρος	Μέση απόκλιση	Διάμεση απόκλιση	Συντελεστής Διακύμανσης [0-1]	Συντελεστής διασποράς	Ενέργεια	Εντροπία
1	61,8	214	37,7	29,0	0,3	0,2	27918073,0	0,4
2	60,0	207	32,4	29,0	0,2	0,2	44336143,0	0,4
3	63,0	245	35,5	28,0	0,3	0,2	40635239,0	0,4
4	51,0	215	29,0	25,0	0,3	0,2	28625463,0	0,4
5	64,0	231	37,7	29,0	0,3	0,2	31618924,0	0,4
6	56,0	231	31,4	27,0	0,2	0,2	66130253,0	0,4
7	44,0	182	26,8	21,0	0,2	0,1	33131371,0	0,4
8	56,0	222	31,2	27,0	0,2	0,2	38190225,0	0,4
9	80,0	243	43,5	39,0	0,3	0,3	53765548,0	0,5
10	53,0	187	30,8	25,0	0,2	0,1	39602165,0	0,5
11	64,3	219	33,7	31,0	0,2	0,2	42548848,0	0,5
12	53,0	217	30,9	24,0	0,2	0,2	34026969,0	0,5
13	69,5	232	39,0	35,0	0,3	0,2	32135545,0	0,4
14	42,0	152	23,9	21,0	0,2	0,1	22081663,0	0,4
15	47,0	223	26,3	23,0	0,3	0,2	29167923,0	0,4
16	52,5	206	31,8	25,0	0,2	0,2	26598058,0	0,3
17	59,3	203	31,2	28,0	0,2	0,2	29951232,0	0,4
18	53,0	193	29,3	26,0	0,2	0,1	19385296,0	0,4
19	46,5	203	27,7	23,0	0,2	0,1	21053982,0	0,4
20	50,0	240	32,3	23,0	0,2	0,1	31901816,0	0,4
21	72,0	210	38,4	35,0	0,3	0,2	40236001,0	0,4
22	40,0	199	24,4	19,0	0,2	0,1	25998363,0	0,3
23	60,0	213	33,7	29,0	0,3	0,2	41055969,0	0,4
24	58,5	207	32,6	30,0	0,3	0,2	19031235,0	0,4
25	52,0	204	29,3	25,0	0,2	0,2	35081620,0	0,4
26	67,0	229	35,6	33,5	0,3	0,2	41217049,0	0,5
27	66,8	226	36,0	33,0	0,3	0,2	40743390,0	0,5
28	55,8	246	34,1	28,0	0,3	0,2	33066483,0	0,4
29	63,0	210	35,3	29,5	0,3	0,2	34213495,0	0,4
30	70,0	204	36,4	35,0	0,2	0,2	58260279,0	0,5
31	65,0	213	34,9	32,0	0,3	0,2	67461982,0	0,6
32	59,0	210	32,3	29,0	0,2	0,2	35681333,0	0,4

33	58,0	218	33,1	28,0	0,2	0,2	44694074,0	0,4
34	56,0	230	33,9	27,0	0,2	0,2	50056467,0	0,4
35	56,0	235	33,3	28,0	0,3	0,2	35864306,0	0,4
36	42,0	212	28,5	21,0	0,2	0,1	30303649,0	0,4
Mean	57,4	215	32,6	27,8	0,2	0,2	36826956,4	0,4
Std	9,0	19	4,2	4,5	0,0	0,0	11567165,8	0,05

Πίνακας 6. Οβελιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 2^{ns} για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία

Εικόν α	Contrast Mean	Contrast Range	Correlation Mean	Correlatio n Range	Energy Mean	Energy Range	Homogeneit y Mean	Homogeneity Range
1	1,450	1,238	0,665	0,315	0,102	0,027	0,676	0,108
2	0,808	0,426	0,768	0,131	0,122	0,031	0,780	0,083
3	0,866	0,449	0,686	0,167	0,101	0,020	0,721	0,079
4	1,165	0,565	0,714	0,147	0,114	0,026	0,734	0,100
5	1,843	1,706	0,607	0,418	0,090	0,017	0,669	0,129
6	0,837	0,479	0,781	0,132	0,122	0,030	0,778	0,081
7	2,142	1,598	0,488	0,399	0,133	0,038	0,670	0,126
8	0,947	0,694	0,693	0,264	0,114	0,042	0,737	0,105
9	0,936	0,626	0,754	0,171	0,073	0,018	0,710	0,085
10	1,763	1,280	0,651	0,246	0,129	0,040	0,713	0,110
11	0,921	0,621	0,736	0,187	0,117	0,036	0,749	0,074
12	1,431	0,992	0,531	0,365	0,112	0,028	0,692	0,108
13	1,730	1,512	0,673	0,310	0,075	0,024	0,678	0,108
14	2,104	1,290	0,554	0,303	0,164	0,048	0,697	0,151
15	0,835	0,401	0,762	0,124	0,166	0,028	0,798	0,072
16	1,199	0,861	0,671	0,251	0,117	0,026	0,719	0,107
17	1,010	0,543	0,744	0,127	0,149	0,032	0,764	0,070
18	2,450	2,250	0,463	0,511	0,117	0,037	0,639	0,170
19	1,365	0,882	0,558	0,308	0,104	0,025	0,693	0,094
20	0,880	0,765	0,624	0,353	0,126	0,025	0,722	0,097
21	1,245	0,788	0,731	0,185	0,097	0,029	0,715	0,076
22	1,604	0,668	0,593	0,188	0,153	0,030	0,720	0,065
23	1,264	0,804	0,704	0,192	0,094	0,022	0,713	0,097
24	1,554	0,995	0,670	0,209	0,087	0,030	0,691	0,128
25	1,093	0,868	0,658	0,296	0,141	0,036	0,745	0,101
26	1,099	0,592	0,756	0,134	0,097	0,024	0,740	0,078
27	0,799	0,402	0,831	0,089	0,113	0,039	0,785	0,085
28	0,758	0,542	0,731	0,218	0,095	0,029	0,726	0,101
29	1,420	0,936	0,674	0,221	0,107	0,025	0,703	0,115
30	0,800	0,483	0,807	0,119	0,109	0,030	0,782	0,088
31	0,790	0,368	0,826	0,087	0,110	0,024	0,779	0,073
32	1,217	0,696	0,652	0,245	0,104	0,029	0,716	0,092
33	1,054	0,534	0,706	0,170	0,108	0,030	0,734	0,091
34	1,099	0,744	0,708	0,214	0,109	0,028	0,724	0,090
35	1,061	0,598	0,727	0,170	0,115	0,031	0,741	0,099
36	1,318	1,098	0,534	0,446	0,136	0,033	0,704	0,116
Mean	1,246	0,841	0,679	0,234	0,114	0,030	0,724	0,099
Std	0,426	0,424	0,091	0,105	0,022	0,007	0,037	0,023

Πίνακας 7. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1^{ης} για τις περιπτώσεις με παθολογία

Εικόνα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Median	Min	10 ^o prct	90 ^o prct
1	155	28,4	0,1	3,4	156	72	117,5	189,0
2	108	29,7	0,6	4,6	106	42	70,0	144,0
3	133	33,3	-0,4	3,8	138	24	87,0	170,0
4	106	25,7	1,8	9,9	105	34	79,0	126,2
5	114	35,0	0,6	3,8	111	42	69,0	154,0
6	107	35,4	1,8	6,5	100	60	73,0	155,2
7	155	35,9	0,3	2,5	151	81	111,0	202,2
8	172	35,3	-0,4	2,9	178	74	119,0	210,0
9	137	29	0	5	137	36	100	168
mean	132	31,9	0,5	4,7	131	52	91,7	168,7
std	25	3,8	0,8	2,3	27	20	20,5	27,5

Πίνακας 8. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1^{ης} για τις περιπτώσεις με παθολογία

Εικόνα	IQR	Εύρος	Μέση απόκλιση	Διάμεση απόκλιση	Συντελεστής διακύμανσης	Συντελεστής διασποράς	Ενέργεια	Εντροπία
1	36,0	183	22,1	18,0	0,2	0,1	14599816	0,8
2	39,0	213	23,2	20,0	0,3	0,2	7936759	0,8
3	38,0	231	25,4	18,0	0,3	0,1	9612678	0,7
4	27,0	221	17,5	13,0	0,2	0,1	7710866	0,7
5	48,5	213	28,4	25,0	0,3	0,2	10552066	0,5
6	29,0	195	24,3	15,0	0,3	0,1	5212760	1,0
7	54,0	174	30,2	27,0	0,2	0,2	7769286	0,8
8	47,0	181	28,2	22,0	0,2	0,1	11031926	0,6
9	36	219	22	18	0	0	6193658	1
mean	39,4	203	24,6	19,5	0,2	0,2	8957757	0,7
Std	9,0	20	4,0	4,5	0,0	0,0	2845625	0,1

Πίνακας 9. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 2^{ης} για τις περιπτώσεις με παθολογία

Εικόνα	Contrast Mean	Contrast Range	Correlation Mean	Correlation Range	Energy Mean	Energy Range	Homogeneity Mean	Homogeneity Range
1	1,00	0,69	0,64	0,25	0,19	0,08	0,80	0,13
2	0,67	0,53	0,76	0,20	0,21	0,08	0,85	0,12
3	1,22	0,95	0,65	0,28	0,18	0,07	0,75	0,15
4	0,68	0,60	0,56	0,44	0,35	0,08	0,86	0,10
5	0,87	0,43	0,78	0,11	0,15	0,03	0,80	0,07
6	0,82	0,87	0,75	0,29	0,25	0,08	0,83	0,13
7	1,31	1,00	0,70	0,22	0,15	0,05	0,77	0,14
8	1,98	1,94	0,56	0,43	0,13	0,06	0,66	0,23
9	1	2	0	1	0	0	1	0
Mean	1,11	0,95	0,65	0,31	0,20	0,07	0,78	0,14
Std	0,43	0,49	0,11	0,14	0,07	0,02	0,06	0,05

Πίνακας 10. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1^{ης} για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία

Εικόνα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Median	Min	10 ^o prct	90 ^o prct
1	191	29,5	-0,4	2,7	196	117	147,3	227,7
2	167	24,8	-0,1	2,9	166	86	134,0	200,0
3	160	38,7	-0,7	3,2	165	27	104,4	205,0
4	161	31,9	-0,4	3,0	166	26	117,0	198,0
5	167	46,5	-0,3	2,1	170	48	101,0	226,0
6	158	42,3	-0,1	2,5	157	42	100,0	213,0
7	105	28,4	1,0	6,8	107	43	67,9	131,0
8	160	40,8	-0,6	2,8	169	45	102,4	204,6
9	173	35,1	-0,2	2,6	175	67	125,4	218,0
10	138	46,1	-0,1	2,1	140	29	75,0	197,0
11	188	30,4	-0,9	4,0	194	73	147,0	220,0
12	172	42,9	-0,5	2,7	179	40	106,0	223,5
13	186	35,7	-0,3	2,4	189	97	134,6	231,0
14	159	36,1	-0,6	3,0	168	28	109,1	201,0
15	149	45,1	-0,7	3,0	158	20	85,0	197,0
16	150	38,4	0,3	3,3	147	46	104,0	203,0
17	154	60,0	-0,8	3,0	162	2	64,8	221,4
18	179	30,9	-0,6	3,2	182	76	137,0	216,0
19	140	41,7	0,0	2,8	139	25	86,0	197,2
20	166	43,8	-1,0	3,8	176	17	103,0	214,0
21	162	34,8	0,1	2,7	159	60	118,0	209,0
22	123	33,5	0,0	4,5	127	9	79,0	158,2

23	177	44,2	-0,5	2,5	186	43	114,4	231,6
24	170	37,3	-0,9	4,3	177	36	123,8	207,0
25	135	36,0	-0,1	3,6	135	22	92,5	175,5
26	139	41,9	0,0	3,2	143	31	79,1	188,6
27	137	42,5	-0,1	2,9	140	33	81,0	194,0
28	182	38,0	-1,1	4,7	189	31	134,0	223,0
29	188	31,8	-0,4	3,2	187	71	148,6	228,4
30	189	34,1	-0,3	2,1	192	115	138,0	231,0
31	169	48,5	-0,5	2,5	176	31	102,0	226,4
32	192	37,1	-0,6	2,5	199	94	135,0	236,0
33	164	46,9	-0,5	2,4	175	55	91,8	217,2
34	147	38,1	-0,3	2,6	152	27	93,7	191,3
35	173	32,8	-0,5	3,1	176	67	125,1	210,0
36	175	34,1	-0,6	2,9	180	70	127,0	214,0
37	145	44,7	-0,2	2,4	148	40	83,9	201,2
38	124	38,2	1,0	4,5	122	32	83,0	174,4
Mean	161	38,5	-0,3	3,1	165	48	107,9	206,9
Std	21	6,8	0,4	0,9	22	28	23,7	21,5

Πίνακας 11. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 1^{ης} για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία

Εικόνα	IQR	Εύρος	Μέση απόκλιση	Διάμεση απόκλιση	Συντελεστής διακύμανσης	Συντελεστής διασποράς	Ενέργεια	Εντροπία
1	42,0	138	23,6	17,5	0,2	0,1	9654544	0,8
2	34,8	169	19,9	17,0	0,1	0,1	30763788	0,9
3	53,0	228	31,3	26,0	0,2	0,2	9431618	0,8
4	49,0	229	26,8	23,0	0,2	0,2	9729845	0,8
5	75,0	207	39,6	37,0	0,3	0,2	20164172	0,5
6	61,5	213	34,2	30,0	0,3	0,2	8653449	0,8
7	33,0	212	20,7	15,0	0,3	0,2	8606229	0,6
8	59,0	210	33,5	28,0	0,3	0,2	10041286	0,7
9	50,8	188	28,5	25,0	0,2	0,1	21422977	0,7
10	75,0	226	39,2	37,0	0,3	0,3	29366016	0,6
11	38,5	182	23,8	18,0	0,2	0,1	24721686	0,7
12	61,0	215	35,0	29,5	0,2	0,2	17891781	0,7
13	55,0	158	29,2	27,0	0,2	0,1	11911294	0,7
14	51,5	227	29,7	25,0	0,2	0,2	11561468	0,8
15	62,0	235	36,3	29,0	0,3	0,2	16985245	0,6
16	36,3	209	28,8	18,0	0,3	0,1	10151029	0,8
17	79,5	253	48,0	39,0	0,4	0,2	12365363	0,8
18	43,5	179	24,8	21,0	0,2	0,1	11712089	0,7
19	55,0	230	32,9	28,0	0,3	0,2	15918844	0,4
20	51,3	238	34,0	24,0	0,3	0,2	10122267	0,8
21	48,0	195	28,1	24,0	0,2	0,1	15332681	0,4
22	36,0	246	24,9	17,0	0,3	0,1	11061215	0,5
23	67,5	212	36,7	33,0	0,2	0,2	13323076	0,7
24	44,3	219	28,2	21,0	0,2	0,1	11174283	0,8

25	44,0	233	28,0	21,5	0,3	0,2	10543742	0,5
26	48,0	224	31,9	23,0	0,3	0,2	7309949	0,8
27	52,0	222	32,9	26,0	0,3	0,2	12367237	0,6
28	43,0	224	28,6	21,0	0,2	0,1	19912134	0,8
29	43,0	184	25,2	22,0	0,2	0,1	23554513	0,8
30	52,0	140	28,5	26,0	0,2	0,1	30644715	0,8
31	73,3	224	40,4	37,0	0,3	0,2	15507376	0,4
32	54,3	161	30,6	26,0	0,2	0,1	21618593	0,8
33	69,0	200	39,0	29,0	0,3	0,2	16926941	0,7
34	54,0	228	31,3	26,0	0,3	0,2	17596608	0,5
35	42,0	188	25,9	21,0	0,2	0,1	23320084	0,7
36	46,5	185	27,7	23,0	0,2	0,1	21898291	0,8
37	69,0	215	36,7	33,0	0,3	0,2	13901595	0,5
38	39,0	223	27,3	19,0	0,3	0,2	8558725	0,4
Mean	52,4	207	30,8	25,3	0,2	0,2	15677020	0,7
Std	12,3	28	5,9	6,1	0,1	0,0	6509158	0,1

Πίνακας 12. Στεφανιαίο Επίπεδο, τιμές χαρακτηριστικών 2^{ης} για τις περιπτώσεις χωρίς παθολογία

Εικόνα	Contrast Mean	Contrast Range	Correlation Mean	Correlation Range	Energy Mean	Energy Range	Homogeneity Mean	Homogeneity Range
1	2,63	2,06	0,45	0,42	0,14	0,08	0,66	0,23
2	0,64	0,41	0,70	0,21	0,23	0,07	0,84	0,10
3	1,77	1,88	0,51	0,54	0,11	0,06	0,68	0,20
4	1,24	1,02	0,51	0,40	0,16	0,08	0,74	0,16
5	1,23	1,05	0,73	0,26	0,10	0,05	0,74	0,14
6	1,16	0,99	0,73	0,26	0,11	0,05	0,76	0,14
7	0,72	0,42	0,65	0,22	0,29	0,05	0,83	0,06
8	1,71	1,51	0,55	0,38	0,12	0,06	0,68	0,14
9	1,08	0,75	0,75	0,18	0,14	0,06	0,78	0,14
10	1,31	0,76	0,77	0,14	0,09	0,03	0,73	0,12
11	1,17	0,74	0,69	0,20	0,19	0,07	0,77	0,14
12	1,42	1,20	0,62	0,37	0,11	0,05	0,71	0,18
13	1,79	2,02	0,73	0,32	0,13	0,07	0,70	0,28
14	1,27	1,35	0,61	0,46	0,13	0,07	0,71	0,19
15	1,35	1,22	0,73	0,26	0,11	0,04	0,70	0,20
16	0,85	0,81	0,77	0,24	0,18	0,06	0,79	0,16
17	1,24	1,53	0,77	0,30	0,07	0,04	0,70	0,17
18	1,31	1,31	0,62	0,39	0,18	0,08	0,77	0,19
19	1,11	0,62	0,77	0,14	0,11	0,04	0,75	0,13
20	0,74	0,64	0,73	0,23	0,13	0,07	0,74	0,16
21	1,24	0,72	0,71	0,20	0,14	0,03	0,75	0,10
22	0,45	0,26	0,75	0,15	0,17	0,04	0,80	0,10
23	1,81	1,93	0,54	0,54	0,08	0,03	0,66	0,17
24	1,43	1,64	0,45	0,70	0,15	0,07	0,72	0,18
25	1,35	0,82	0,66	0,22	0,13	0,06	0,72	0,17

26	1,46	1,44	0,69	0,33	0,12	0,05	0,70	0,20
27	1,13	0,67	0,77	0,14	0,12	0,05	0,75	0,14
28	0,86	0,70	0,69	0,27	0,15	0,06	0,76	0,16
29	1,12	0,95	0,71	0,25	0,16	0,08	0,77	0,17
30	1,28	0,76	0,80	0,13	0,16	0,05	0,79	0,12
31	1,56	1,29	0,69	0,28	0,09	0,05	0,69	0,18
32	2,74	2,65	0,61	0,41	0,12	0,06	0,67	0,24
33	1,34	1,02	0,82	0,14	0,09	0,05	0,73	0,19
34	1,69	1,24	0,57	0,34	0,10	0,03	0,68	0,13
35	1,35	0,84	0,63	0,25	0,17	0,06	0,75	0,14
36	1,23	0,86	0,71	0,23	0,16	0,06	0,76	0,14
37	1,29	0,99	0,75	0,20	0,10	0,05	0,72	0,18
38	1,10	0,62	0,74	0,14	0,15	0,06	0,76	0,10
Mean	1,32	1,10	0,68	0,28	0,14	0,06	0,74	0,16
Std	0,45	0,52	0,10	0,13	0,04	0,01	0,04	0,04

4.2 Αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου των χαρακτηριστικών

Στην συνέχεια ακολούθησε ο στατιστικός έλεγχος των χαρακτηριστικών αυτών με την χρήση τριών ελέγχων του Lilliefors' goodness of fit test, του Student's t-test και του Wilcoxon test. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μπορούμε να εντοπίσουμε τα χαρακτηριστικά που έχουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των φυσιολογικών εικόνων και των εικόνων με κάποιας μορφής παθολογία καθώς και να ελέγξουμε αν οι δύο αυτές κατηγορίες προέρχονται από την ίδια ή παρόμοια κατανομή σε σχήμα και έκταση. Αρχικά, το στατιστικό τεστ Lilliefors' (ορίζεται ως συνάρτηση `lillietest` στο Matlab) μας βοηθάει να ξεχωρίσουμε τα χαρακτηριστικά που προέρχονται από κανονική κατανομή. Όταν τα χαρακτηριστικά αυτά προέρχονται από κανονική κατανομή ($h=1$) τότε εκτελούμε το στατιστικό τεστ Student's t-test (συνάρτηση `ttest2` στο Matlab), ενώ στην αντίθετη περίπτωση ($h=0$) εκτελούμε το Wilcoxon, μη παραμετρικό τεστ (συνάρτηση `ranksum` στο Matlab). Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε το 0.01 που σημαίνει ότι για να υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά θα πρέπει να ισχύει ($p<0.01$).

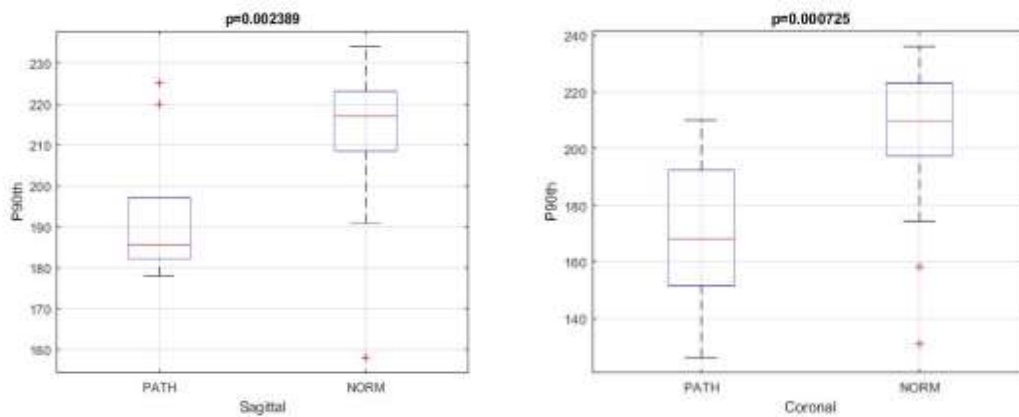
Στους παρακάτω πίνακες παραθέτονται τα αποτελέσματα που πήραμε από τις τεχνικές t-test και Wilcoxon για τις δύο ακολουθίες με επίπεδο σημαντικότητας 0.01 και 0.005 αντίστοιχα. Τα χαρακτηριστικά δηλαδή που παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των περιπτώσεων με παθολογία και των υγιών περιπτώσεων.

Πίνακας 13. Τιμές χαρακτηριστικών για επίπεδο σημαντικότητας p-value = 0.01

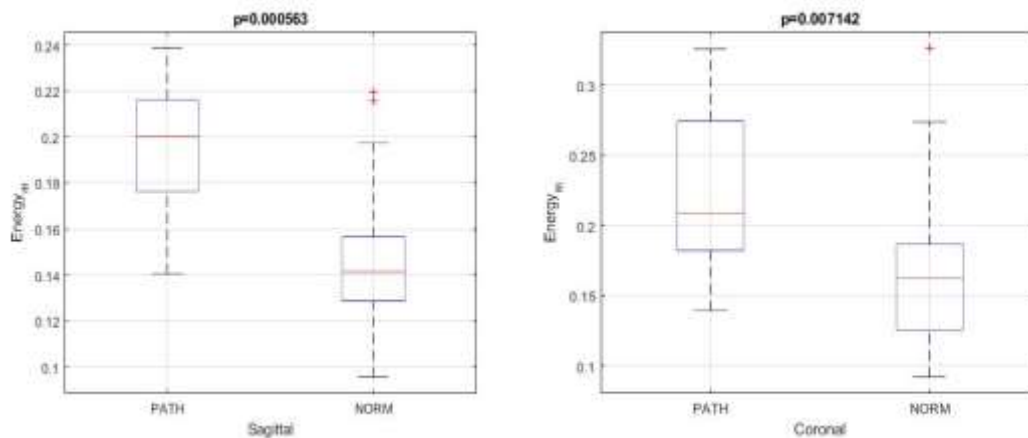
Με έντονο μαύρο χρώμα εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά με στατιστικά σημαντική διαφορά

Χαρακτηριστικό υφής	Οβελιαίο επίπεδο	Στεφανιαίο επίπεδο
p-value = 0.01		
Μέση τιμή	0,0081	0.0034
Τυπική απόκλιση	0,0102	0.0056
Ασυμμετρία	0,0604	0.0012
Κύρτωση	0,0642	0.0098
Διάμεση ένταση	0,0068	0.0021
Ελάχιστη ένταση	0,5137	0.4570
10 ^ο prct	0,0958	0.0722
90 ^ο prct	0,0024	0.0007
IQR	0.0049	0.0056
Εύρος	0.5137	0.4570
Μέση απόκλιση	0.0102	0.0043
Διάμεση απόκλιση	0.0046	0.0122
Συντελεστής διακύμανσης	0.6994	0.8182
Συντελεστής διασποράς	0.2256	0.4572
Ενέργεια	0.0722	0.0011
Εντροπία	0.7192	0.5794
Μέση αντίθεση	0.1015	0.1808
Εύρος αντίθεσης	0.0908	0.3509
Μέση συσχέτιση	0.1015	0.6361
Εύρος συσχέτισης	0.1542	0.5430
Μέση ενέργεια	0.0015	0.0018
Εύρος ενέργειας	0.0050	0.0386
Μέση ομοιογένεια	0.0019	0.0240
Εύρος ομοιογένειας	0.9469	0.2505

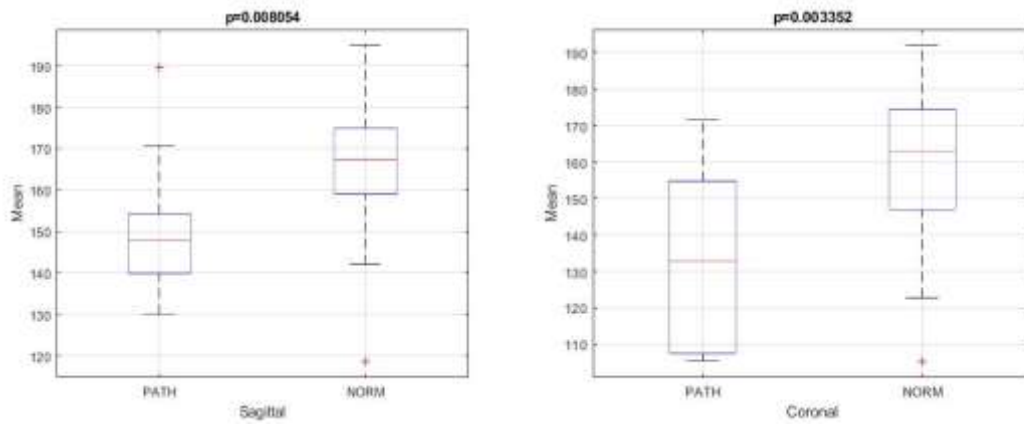
Παρατηρούμε ότι για το επίπεδο σημαντικότητας 0.01 υπάρχουν αρκετά χαρακτηριστικά με στατιστικά σημαντική διαφορά και στις δύο ακολουθίες όπως π.χ. η μέση τιμή, η διάμεση απόκλιση και η μέση ομοιογένεια για το οβελιαίο επίπεδο και η ασυμμετρία, η κύρτωση και η μέση απόκλιση για το στεφανιαίο επίπεδο. Συγκεκριμένα όμως, τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά και στις δύο ακολουθίες που ελέγχθηκαν είναι η μέση τιμή, η διάμεση ένταση, το 90^ο Εκατοστημόριο Έντασης, το IQR και η μέση ενέργεια.



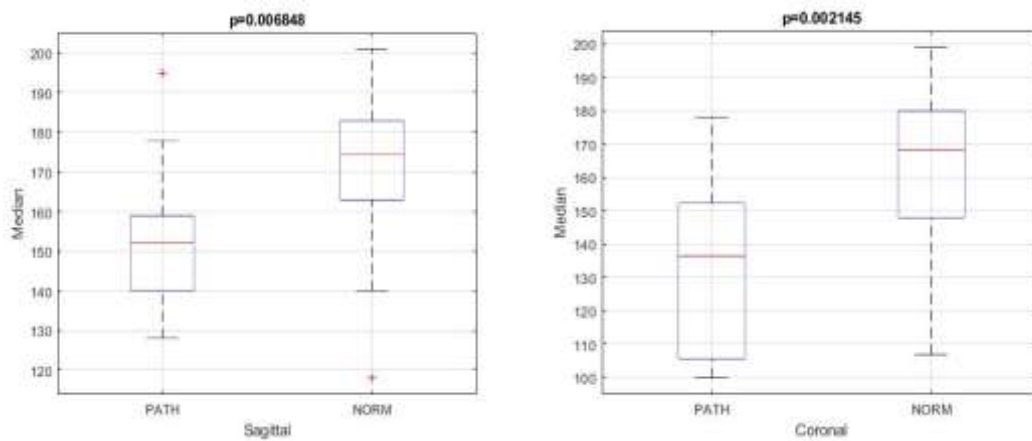
Εικόνα 10. 90^ο Εκατοστημόριο των φυσιολογικών εικόνων σε σχέση με τις παθολογικές και στα δύο ανατομικά επίπεδα. (p-value = 0.01)



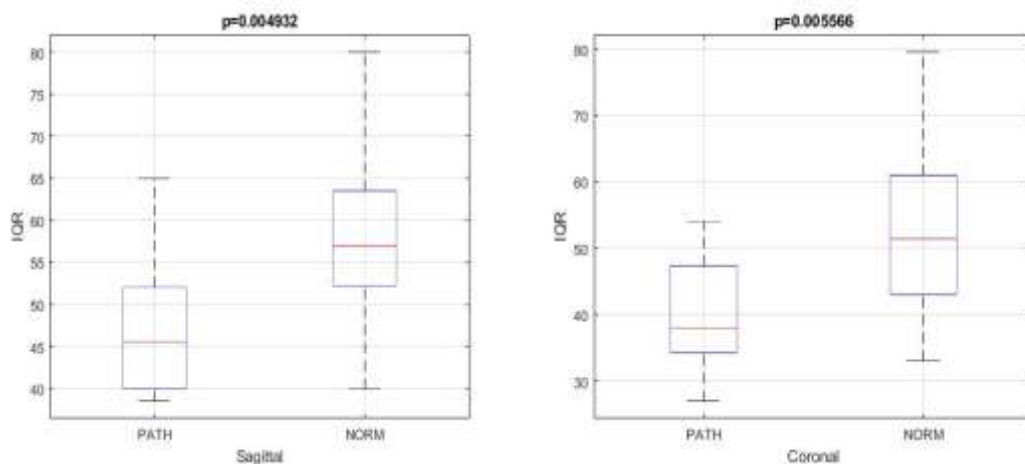
Εικόνα 11. Μέση Ενέργεια των φυσιολογικών εικόνων σε σχέση με τις παθολογικές και στα δύο ανατομικά επίπεδα. (p-value = 0.01)



Εικόνα 12. Μέση τιμή των φυσιολογικών εικόνων σε σχέση με τις παθολογικές και στα δύο ανατομικά επίπεδα. (p-value = 0.01)



Εικόνα 13. Διάμεση ένταση των φυσιολογικών εικόνων σε σχέση με τις παθολογικές και στα δύο ανατομικά επίπεδα. (p-value = 0.01)



Εικόνα 14. IQR των φυσιολογικών εικόνων σε σχέση με τις παθολογικές και στα δύο ανατομικά επίπεδα. (p-value = 0.01)

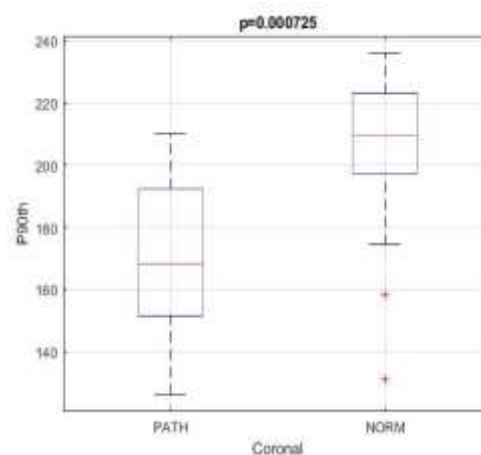
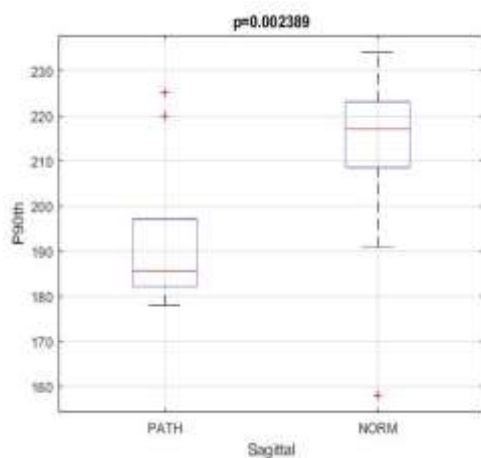
Πίνακας 14. Τιμές χαρακτηριστικών για επίπεδο σημαντικότητας p-value = 0.005

Με έντονο μαύρο χρώμα εμφανίζονται τα χαρακτηριστικά με στατιστικά σημαντική διαφορά

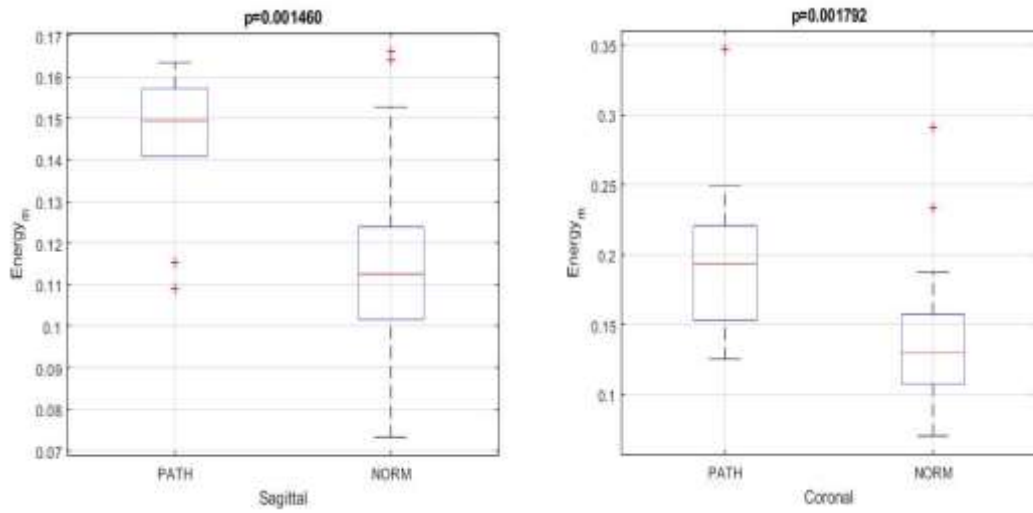
Χαρακτηριστικό υφής	Οβελιαίο επίπεδο	Στεφανιαίο επίπεδο
p-value = 0.005		
Μέση τιμή	0.0081	0.0034
Τυπική απόκλιση	0.0102	0.0056
Ασυμμετρία	0.0604	0.0012
Κύρτωση	0.0642	0.0098
Διάμεση ένταση	0.0068	0.0021
Ελάχιστη ένταση	0.5137	0.4570
10 ^ο prct	0.0958	0.0722
90 ^ο prct	0.0024	0.0007
IQR	0.0049	0.0056
Εύρος	0.5137	0.4570
Μέση απόκλιση	0.0102	0.0043

Διάμεση απόκλιση	0.0046	0.0122
Συντελεστής διακύμανσης	0.6994	0.8182
Συντελεστής διασποράς	0.2256	0.4572
Ενέργεια	0.0722	0.0011
Εντροπία	0.7192	0.5794
Μέση αντίθεση	0.1015	0.1808
Εύρος αντίθεσης	0.0908	0.3509
Μέση συσχέτιση	0.1015	0.6361
Εύρος συσχέτισης	0.1542	0.5430
Μέση ενέργεια	0.0015	0.0018
Εύρος ενέργειας	0.0050	0.0386
Μέση ομοιογένεια	0.0019	0.0240
Εύρος ομοιογένειας	0.9469	0.2505

Επίσης παρατηρούμε ότι και για το επίπεδο σημαντικότητας 0.005 υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά όπως π.χ. το IQR, η μέση ενέργεια και το εύρος συσχέτισης για το οβελιαίο επίπεδο και η ασυμμετρία, η διάμεση ένταση και η μέση απόκλιση για το στεφανιαίο επίπεδο. Συγκεκριμένα όμως, τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά και στις δύο ακολουθίες είναι το 90ο Εκατοστημόριο Έντασης, και η μέση ενέργεια.



Εικόνα 15. 90° Εκατοστημόριο των φυσιολογικών εικόνων σε σχέση με τις παθολογικές και στα δύο ανατομικά επίπεδα. (p-value = 0.005)



Εικόνα 16. Μέση Ενέργεια των φυσιολογικών εικόνων σε σχέση με τις παθολογικές και στα δύο ανατομικά επίπεδα. (p-value = 0.005)

5. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά για να προσδιορίσουμε μεταβολές στην υφή του χόνδρου γόνατος πραγματοποιήσαμε ποσοτικές μετρήσεις από τις οποίες εξήχθησαν αποτελέσματα, βασισμένα στα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής ενδιαφέροντος.

Η ποσοτικοποίηση της υφής επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας τα χαρακτηριστικά 1^{ης} τάξης που προκύπτουν από το ιστόγραμμα της εικόνας και τα 2^{ης} τάξης που προκύπτουν από τον πίνακα συνεμφάνισης (co-occurrence matrix) των τόνων του γκρι.

Σύμφωνα με τον στατιστικό έλεγχο που εφαρμόστηκε, για επίπεδο σημαντικότητας 0.01, βρέθηκαν πέντε χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά και στα δύο ανατομικά επίπεδα η μέση τιμή, η διάμεση ένταση, το 90^ο εκατοστημόριο έντασης, το IQR και η μέση ενέργεια. Αντίστοιχα για επίπεδο σημαντικότητας 0.005, βρέθηκαν δύο χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά και στα δύο ανατομικά επίπεδα το 90^ο εκατοστημόριο έντασης και η μέση ενέργεια.

Συγκεκριμένα η μέση τιμή των φυσιολογικών εικόνων είναι υψηλότερη σε σχέση με τις παθολογικές εικόνες πράγμα που σημαίνει πως και η φωτεινότητα που παρατηρείται στα εικονοστοιχεία είναι υψηλότερη στις φυσιολογικές εικόνες. Η μέση ενέργεια εμφανίζεται υψηλότερη στις εικόνες με παθολογία σε σχέση με τις φυσιολογικές πράγμα που σημαίνει ότι στις εικόνες με παθολογία υπάρχουν περισσότεροι τόνοι του γκρι που συνεμφανίζονται, επομένως έχουμε μεγαλύτερες τιμές τόνων του γκρι πράγμα που δικαιολογεί την υψηλότερη μέση ενέργεια. Γενικά οι φυσιολογικές εικόνες παρουσιάζουν περισσότερη ομοιογένεια ως προς την υφή του χόνδρου αλλά και το επίπεδο των τόνων του γκρι σε σχέση με τις παθολογικές εικόνες που χαρακτηρίζονται από ανομοιογένεια.

Πίνακας Ορολογίας

Ξενόγλωσση Ορολογία	Ελληνική Ορολογία
Gantry	Βασικό σώμα Μαγνητικού τομογράφου
Mean	Μέση Τιμή
Standard Deviation	Τυπική Απόκλιση
Skewness	Ασυμμετρία
Kurtosis	Κύρτωση
Energy	Ενέργεια
Homogeneity	Ομοιογένεια
Contrast	Αντίθεση
Correlation	Συσχέτιση
BMLs	Βλάβη μυελού των οστών
Contrast	Αντίθεση
Correlation	Συσχέτιση
Energy	Ενέργεια
Homogeneity	Ομοιογένεια
P value	Τιμή πιθανότητας

Αναφορές-Πηγές

Ξενόγλωσσες

- [1] Alexandros Andrianakos, Leonidas Kontelis, Dimitrios Karamitsos, Spiros Aslanidis, Athanasios Georgountzos, George Kaziolas, Kyriaki Padelidou, Elizabeth Vafiadou, Petros Dantis, (2006). Prevalence of Symptomatic Knee, Hand and Hip Osteoarthritis in Greece. The ESORDIG Study, *J Rheumatol*, 33 (12): 2507-13.
- [2] Bernard Rosner, Robert J. Glynn, Mei-Ling Ting Lee, (2003). Incorporation of Clustering Effects for the Wilcoxon Rank Sum Test: A Large-Sample Approach, *Biometrics*, 59 (4):1089-98. doi: [10.1111/j.0006-341x.2003.00125.x](https://doi.org/10.1111/j.0006-341x.2003.00125.x) .
- [3] David T Felson , Sara McLaughlin, Joyce Goggins, Michael P LaValley, M Elon Gale, Saara Totterman, Wei Li, Catherine Hill, Daniel Gale, (2003). Bone marrow edema and its relation to progression of knee osteoarthritis, *Ann Intern Med*, 139:330-6. doi: [10.7326/0003-4819-139-5_part_1-200309020-00008](https://doi.org/10.7326/0003-4819-139-5_part_1-200309020-00008).
- [4] Gabrielle Bergman, M.D., November, (2010). Osteoarthritis (OA) of the Knee, MRI Web Clinic, URL: <https://radsourc.us/osteoarthritis-oa-of-the-knee/> , last access: 20/6/2022.
- [5] Gerard E. Dallal & Leland Wilkinson, (2012). An Analytic Approximation to the Distribution of Lilliefors's Test Statistic for Normality, *The American Statistician*, 40, 4: 294-296, doi: [10.2307/2684607](https://doi.org/10.2307/2684607) .
- [6] Gonzalez R.C., Woods R.E., (2017). Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας, third edition, ISBN 9789604182558, εκδόσεις Τζιόλα.
- [7] G. Collewet, M. Strzelecki, and F. Mariette, (2004). Influence of MRI acquisition protocols and image intensity normalization methods on texture classification. *Magnetic resonance imaging*, 22 (1): 81–91, doi: [10.1016/j.mri.2003.09.001](https://doi.org/10.1016/j.mri.2003.09.001).
- [8] Hubert W. Lilliefors, (1967), On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown, *Journal of the American Statistical Association*, 62: 318, 399-402, doi: [10.2307/2283970](https://doi.org/10.2307/2283970).

[9] Jeffrey N. Rouder, Paul L. Speckman, Dongchu Sun, Richard D. Morey & Geoffrey Iverson, (2009). Bayesian t tests for accepting and rejecting the null hypothesis, *Psychonomic Bulletin & Review*, 16: 225–237.

[10] Jian Zhao, Jing Wang, Jin Zhu, Zhiping Guo, Xuesong Zhang and Jianling Cui, (2017). Evaluation of Correlation Between Bone Marrow Edema Like Lesions and the Articular Elements Pathology Involved in Knee Osteoarthritis Using Magnetic Resonance Imaging, *Current Medical Imaging*, 13 (3), doi: [10.2174/1573405612666160808173229](https://doi.org/10.2174/1573405612666160808173229).

[11] Keith L. Moore, A. F. Κλινική Ανατομία, (2016). Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ.

[12] Konstantina Boutsikou, Spiros Kostopoulos, Dimitris Glotsos, Dionisis Cavouras, Eleftherios Lavdas, Georgia Oikonomou, Konstantinos Malizos, Ioannis V. Fezoulidis, Marianna Vlychou, (2013). Texture analysis of articular cartilage traumatic changes in the knee calculated from morphological 3.0 T MR imaging, *Magnetic Resonance Imaging*, 31 (5): 761-770, doi: [10.1016/j.ejrad.2013.01.023](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.01.023).

[13] Mary M Galloway, (1975). Texture Analysis Using Gray-Level Run Lengths, *Computer Graphics and Image Processing*, 4 (2): 172-179, doi: [10.1016/S0146-664X\(75\)80008-6](https://doi.org/10.1016/S0146-664X(75)80008-6).

[14] M Zanetti 1, E Bruder, J Romero, J Hodler, (2000). Bone marrow edema pattern in osteoarthritic knees: correlation between MR imaging and histologic findings, *Radiology*, 215 (3): 835-40. doi: [10.1148/radiology.215.3.r00jn05835](https://doi.org/10.1148/radiology.215.3.r00jn05835).

[15] Peter R. Kornaat, Margreet Kloppenburg, Ruby Sharma, Stella A. Botha-Scheepers, Marie-Pierre Hellio Le Graverand, L. Napoleon J. E. M. Coene, Johan L. Bloem & Iain Watt, (2007). Bone marrow edema-like lesions change in volume in the majority of patients with osteoarthritis; associations with clinical features, *Eur Radiol*, 17 (12): 3073–3078, doi: [10.1007/s00330-007-0711-1](https://doi.org/10.1007/s00330-007-0711-1).

[16] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, (2001). *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, Massachusetts, 2nd ed.

[17] <https://radiopaedia.org/articles/mri-sequences-overview>

- [18] Spiros Kostopoulos, Konstantinos Sidiropoulos, Dimitris Glotsos, Emmanouil Athanasiadis, Konstantina Boutsikou, Eleftherios Lavdas, Georgia Oikonomou, Ioannis V.Fezoulidis, Marianna Vlychou, Michael Hantes, Dionisis Cavouras, (2013). Pattern-recognition system, designed on GPU, for discriminating between injured normal and pathological knee cartilage, *European Journal of Radiology*, 82 (8): 1266-1272, doi: [10.1016/j.mri.2012.10.029](https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.10.029).
- [19] Tong Kuan Chuah, Eric Van Reeth, Kenneth Sheah ,Chueh Loo Poh, (2013). Texture analysis of bone marrow in knee MRI for classification of subjects with bone marrow lesion, *Magn Reson Imaging*, 31 (6): 930-8, doi: [10.1016/j.mri.2013.01.014](https://doi.org/10.1016/j.mri.2013.01.014).
- [20] Wang Yueping & Yi Zhi'an, (2013). Research on Image Intensity Based on Matlab. In: Du, Z. (eds) *Intelligence Computation and Evolutionary Computation. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 180, Springer, Berlin, Heidelberg, doi: [10.1007/978-3-642-31656-2_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-31656-2_15).
- [21] Joern W.-P. Michael, Klaus U Schlüter-Brust, and Peer Eysel, *Dtsch Arztebl Int.*, 107 (9): 152–162, doi: [10.3238/arztebl.2010.0152](https://doi.org/10.3238/arztebl.2010.0152).

Ελληνικές

- [22] Γεωργίου Γ., Ξενοφώντος Χ. (2007). Εισαγωγή στο MATLAB ,Τμήμα Μαθηματικών και Στατιστικής του Πανεπιστημίου της Κύπρου.
- [23] Δαμιανός, Χ., Παπαδάτος, Ν. & Χαραλαμπίδης Χ.Α., 2003. Εισαγωγή στις Πιθανότητες και τη Στατιστική, Διδακτικές Σημειώσεις. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- [24] Ζαφειρόπουλος, Β. (2015). Μέθοδοι Τρισδιάστατης Απεικόνισης: MRI & CT [Κεφάλαιο]. Στο Ζαφειρόπουλος, Β. (2015). Μέτρηση σύστασης του ανθρώπινου σώματος [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. <http://hdl.handle.net/11419/3632>
- [25] Ηλιοπούλου, Π. (2015). ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ-ΕΛΕΓΧΟΙ ΥΠΟΘΕΣΕΩΝ [Κεφάλαιο 4]. Στο Ηλιοπούλου, Π. 2015. Γεωγραφική ανάλυση [Προπτυχιακό εγχειρίδιο].

[26] Ιωάννης Κανδαράκης, Αναστάσιος Καρατόπης (2008). Ιατρική Φυσική-Βιοϊατρική τεχνολογία, Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Αράκυνθος.

[27] Ιωάννης Κανδαράκης (2008). Ιατρική Φυσική- Βιοϊατρική τεχνολογία, Ακτινοδιαγνωστική. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Αράκυνθος.

[28] Καλατζής Ιωάννης (2020), Αναγνώριση προτύπων με εφαρμογές σε ιατρικά απεικονιστικά συστήματα, Σημειώσεις μαθήματος, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

[29] Λεμονιά Αικατερίνη (2018). Τρισδιάστατη γεωμετρική μοντελοποίηση άρθρωσης ανθρώπινου γονάτου από δεδομένα απεικονιστικής ιατρικής <https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/8969/LemoniaAikaterini2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[30] Μήτρου, Ν. (2015). Εισαγωγή στο MATLAB [Κεφάλαιο]. Στο Μήτρου, Ν. 2015. Ψηφιακές Επικοινωνίες [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Αθήνα: Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. κεφ 10. <http://hdl.handle.net/11419/6054>.

[31] Μπουτσίκου Γ. Κωνσταντίνα, (2015). Διδακτορική Διατριβή. Χαρακτηρισμός του χόνδρου στην άρθρωση του γόνατος με μαγνητική τομογραφία σε συνδυασμό με τεχνικές ανάλυσης εικόνας. <https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/35413>, Λάρισα, Ελλάδα.

[32] Παπαγεωργίου Ευσταθία, Αθήνα (2017). Βιοστατιστική και εφαρμογές, Έκδοση 2η , εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.

[33] Σ. Θεοδωρίδης, Κ. Κουτρούμπας (2012). Pattern Recognition, 4th edition. Εκδόσεις Π.Χ.Πασχαλίδης.