



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΤΗ ΒΙΟΛΟΓΙΑ"**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Υπολογιστική Ανάλυση παθολογιών γονάτου με την χρήση
εικόνων MRI**

Νάντα Α. Μπότσι

Επιβλέπων: Παντελής Ασβεστάς, Επίκουρος Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2018

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υπολογιστική Ανάλυση παθολογιών γονάτου με την χρήση εικόνων MRI

Νάντα Α. Μπότσι
Α.Μ.: ΠΙΒ0161

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :

Παντελής Ασβεστάς, Επίκουρος Καθηγητής

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Παντελής Ασβεστάς, Επίκουρος Καθηγητής
Ιωάννης Καλατζής, Επίκουρος Καθηγητής
Νεκτάριος Καλύβας, Επίκουρος Καθηγητής

Ιούλιος 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αρθρίτιδα είναι μία παθολογική κατάσταση η οποία εμφανίζεται πολύ συχνά όχι μόνο σε άτομα προχωρημένης ηλικίας αλλά και σε σχετικά νεαρά άτομα. Το οστικό οίδημα αποτελεί το αποτέλεσμα ενός τραυματισμού. Για την διάγνωση αυτών των παθολογιών χρησιμοποιείται η μαγνητική τομογραφία. Στα πλαίσια ενός πρωτοκόλλου ρουτίνας συμπεριλαμβάνονται οι ακολουθίες STIR που είναι μια κατεξοχήν ακολουθία καταστολής λίπους και Proton Density (PD) fat saturation (FS) δηλαδή PD με επιλεκτικό φασματικό κορεσμό του λίπους. Η κάθε κατηγορία σε αυτές τις ακολουθίες απεικονίζεται με υψηλό σήμα. Σκοπός της εργασίας είναι να δημιουργηθεί ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο θα χρησιμοποιεί τεχνικές ανάλυσης ψηφιακής εικόνας για την αποτίμηση της διαφοροποίησης μεταξύ εικόνων MRI σε γόνατα από φυσιολογικό μυελό των οστών, αρθρίτιδας και οστικού οιδήματος από τραυματισμό. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει αρχικά την χειροκίνητη επιλογή των περιοχών ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια, εξήχθησαν από κάθε περιοχή ενδιαφέροντος 12 χαρακτηριστικά για το χρώμα και την υφή (στατιστικά χαρακτηριστικά 1^{ης} τάξης, 2^{ης} τάξης) και έγινε αναζήτηση των χαρακτηριστικών εκείνων που προσφέρουν διαφοροποίηση μεταξύ των τριών κατηγοριών (φυσιολογικός μυελός, αρθρίτιδα, οστικό οίδημα από τραυματισμό). Η μεθοδολογία δοκιμάστηκε σε 92 περιστατικά (29 με φυσιολογικό μυελό των οστών, 31 με οστικό οίδημα από κάκωση και 38 από οστεοαρθρίτιδα) από το ANIMOYΣ KYANOS ΣΤΑΥΡΟΣ. Από το αρχικό πλήθος των 12 χαρακτηριστικών εφαρμόστηκε το κριτήριο rank-features ως μέθοδος επιλογής χαρακτηριστικών. Για την ταξινόμηση των δειγμάτων υλοποιήθηκε ο ταξινομητής Cubic SVM. Τα καλύτερα αποτελέσματα προέκυψαν με χρήση της STIR ακολουθίας. Συγκεκριμένα, όσον αφορά στον διαχωρισμό μεταξύ φυσιολογικών και παθολογικών (οστεοαρθρίτιδα και οίδημα από κάκωση), το ποσοστό ακριβείας έφθασε στο 75.50% με χρήση των χαρακτηριστικών τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος αντίθεσης ασυμμετρία, εύρος ομοιογένειας και αντίθεση. Για τον διαχωρισμό μεταξύ φυσιολογικού μυελού και οιδήματος από κάκωση τα καλύτερα χαρακτηριστικά ήταν ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία, εύρος αντίθεσης, αντίθεση, και το μεγαλύτερο ποσοστό ακρίβειας ήταν 68.30%. Για τον διαχωρισμό μεταξύ φυσιολογικού μυελού και οστεοαρθρίτιδας εξήχθησαν τα χαρακτηριστικά τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, κύρτωση, μέση τιμή και το ποσοστό ακριβείας ήταν 70.10%. Τέλος, το καλύτερο ποσοστό ακρίβειας για τον διαχωρισμό μεταξύ των δύο κατηγοριών παθολογίας ήταν 65.20% με χρήση των χαρακτηριστικών μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Σύστημα Αναγνώρισης Προτύπων

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Σύστημα Αναγνώρισης Προτύπων, χαρακτηριστικά υφής Ανάλυση ιατρικής εικόνας, Μαγνητική τομογραφία, αρθρίτιδα, οστικό οίδημα, ερυθροποίηση μυελού.

ABSTRACT

Arthritis is a pathological condition that occurs a very big range of people not only in the elderly but also in young people. An injury can be a cause of a bone marrow edema. Magnetic Resonance Imaging is used to diagnose these pathologies. Short Tau Inversion Recovery (STIR) sequences and Proton Density (PD) with fat saturation (FS) sequence, i.e. PD with selective spectral saturation of fat are included in a knee routine examination protocol. Each category in these sequences is represented by a high signal. The aim of this thesis is to create a computational system that will use digital image analysis techniques to measure the differentiation between normal MRI bone marrow erythropoiesis, arthritis and bone edema from injury. The methodology that will be used will initially include the manual selection of interest areas (ROIs). Then, from each ROI 12 color and texture features were extracted (e.g. 1st class, 2nd class statistics, etc.) and a feature selection process was apply to to isolate the features that provide differentiation between the three categories (normal marrow, arthritis, bone edema from injury). The methodology was tested on 92 cases (29 bone marrow erythropoiesis, 31 injury, 38 osteoarthritis) from ANIMOUS KYANOS STAYROS. From the initial set of 12 features, the rank-features criterion was applied as a method of selecting features. The Cubic SVM classifier was used to classify the samples. In particular, with regard to the separation between normal and pathological (osteoarthritis and edema from injury), the accuracy rate reached 75.50% using the features standard deviation, energy, correlation range, homogeneity, contrast range, skewness, homogeneity range and contrast. For the discrimination, between normal marrow and edema from injury the best features were energy, correlation range, standard deviation, homogeneity, skewness, contrast range, contrast, and the highest accuracy rate was 68.30%. For the separation between normal marrow and osteoarthritis the features standard deviation, energy, correlation range, homogeneity, kurtosis, mean value reached the percentage of 70.10%. Finally, the best accuracy rate for the separation between the two categories of pathology was 65.20% using typical mean values, skweness, correlation, contrast.

SUBJECT AREA: Pattern recognition system

KEYWORDS: Pattern recognition system, Medical Image Analysis, textural features, MRI, bone knee edema, arthritis, bone erythropoiesis.

Στην οικογένεια μου...

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμηση και τις θερμές μου ευχαριστίες προς τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Παντελή Ασβεστά επίκουρο καθηγητή τής Σχολής μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής(Πρώην ΤΕΙ Αθήνας) για την στήριξη, την βοήθεια και τον χρόνο που αφιέρωσε στη λύση αποριών μου. Καθώς και την κατανόηση ως προς τις επαγγελματικές μου υποχρεώσεις.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σπύρο Κωστόπουλο επίκουρο, καθηγητή τής Σχολής μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής(Πρώην ΤΕΙ Αθήνας), για την βοήθεια του και για τις εύστοχες παρατηρήσεις και τα σχόλιά του που συνέβαλαν ουσιαστικά στη διαμόρφωση της εργασίας μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|-----------|
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| 1.1 Σκοπός Εργασίας | 1 |
| 1.2 Ανατομία Άρθρωσης του Γόνατος..... | 1 |
| 1.3 Παθολογίες Γονάτου | 6 |
| 1.3.1 Οστεοαρθρίτιδα | 6 |
| 1.3.2 Οίδημα του μυελού των οστών | 7 |
| 1.3.3 Ερυθροποίηση Μυελού | 7 |
| 1.4 Απεικόνιση Γόνατος με Μαγνητική Τομογραφία | 8 |
| 1.4.1 Ακολουθία Πυκνότητας Πρωτονίων -Proton Density Spin Echo (PD SE)..... | 8 |
| 1.4.2 Ακολουθία Ανάκτησης Αναστροφής με βραχύ TI (Short Time of inversion recovery-STIR)..... | 9 |
| 1.4.3 Δομή Μαγνητικού Τομογράφου | 9 |
| 1.5 Ανασκόπηση Προηγούμενων Μελετών..... | 12 |
| 2. ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ | 14 |
| 2.1 Περιγραφή Χαρακτηριστικών | 15 |
| 2.1.1 Χαρακτηριστικά υφής | 16 |
| 2.1.2 Χαρακτηριστικά υφής 2 ^{ης} τάξης..... | 17 |
| 2.1.3 Κανονικοποίηση | 18 |
| 2.1.4 Wilcoxon Rank-Sum Test..... | 19 |
| 2.2 Επιλογή Χαρακτηριστικών..... | 20 |
| 2.2.1 Ταξινόμηση..... | 20 |
| 2.3 Μηχανές Διανυσμάτων Στήριξης (Support Vector Machines / SVM) | 21 |
| 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 24 |
| 3.1 Αποτελέσματα Στατιστικής Ανάλυσης | 24 |
| 3.2 Συζήτηση Αποτελεσμάτων Στατιστικής Ανάλυσης | 30 |
| 3.3 Αποτελέσματα Ταξινόμησης Και Πίνακες Αληθείας | 32 |
| 3.4 Συζήτηση Αποτελεσμάτων Ταξινόμησης..... | 42 |

| | |
|---|-----------|
| 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ | 43 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ | 44 |
| ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ | 45 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ..... | 46 |
| ΑΝΑΦΟΡΕΣ | 51 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1: Δεξί μηριαίο κάτω μέρος A: πρόσθια όψη B: οπίσθια όψη..... | 2 |
| Εικόνα 2: Δεξί μηριαίο κάτω μέρος C: έσω όψη, D: έξω όψη | 2 |
| Εικόνα 3: Δεξιά επιγονατίδα A: Πρόσθια όψη B: αρθρική επιφάνεια | 3 |
| Εικόνα 4: Αριστερό μηριαίο και επιγονατίδα. E: Κάτω όψη με το γόνατο σε έκταση. F: Κάτω οπίσθια όψη με το γόνατο σε κάμψη | 3 |
| Εικόνα 5: Γενικό σχήμα του αρθρικού θύλακου. | 3 |
| Εικόνα 6: Αριστερή κατά γόνατο άρθρωση. Άνω όψη μετά την αφαίρεση μηριαίου οστού | 4 |
| Εικόνα 7: T2 STIR οστεοαρθρίτιδα έσω μηριαίου κονδύλου..... | 6 |
| Εικόνα 8: PD FS CORONAL οστικό οίδημα έξω μηριαίου κονδύλου [9]..... | 7 |
| Εικόνα 9: Proton Density Fat Sat (PD FS) SAGITTAL Ερυθροποίηση μυελού [6]..... | 8 |
| Εικόνα 10: Αντίθεση πυκνότητας πρωτονίων. | 9 |
| Εικόνα 11: Μαγνητικός τομογράφος (εξέταση γόνατος-τοποθεσία ασθενούς)[13]..... | 11 |
| Εικόνα 12: Δομικά συστατικά του μαγνητικού τομογράφου [12]. | 11 |
| Εικόνα 13: Κύρια τμήματα της εγκατάστασης ενός απεικονιστικού συστήματος μαγνητικού συντονισμού [11] | 12 |
| Εικόνα 14: Μέση τιμή των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά SAG PD FS | 26 |
| Εικόνα 15: Ασυμμετρία των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά SAG PD FS..... | 26 |
| Εικόνα 16: Ομοιογένεια των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά SAG PD FS | 27 |
| Εικόνα 17: Εύρος συσχέτισης των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά SAG PD FS | 27 |
| Εικόνα 18: Τυπική απόκλιση των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά T2 STIR..... | 28 |
| Εικόνα 19: Μέση ενέργεια των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά T2 STIR | 29 |
| Εικόνα 20:Ομοιογένεια των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά T2 STIR..... | 29 |
| Εικόνα 21: Εύρος συσχέτισης των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά T2 STIR. ... | 30 |
| Εικόνα 22: Πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, τυπική απόκλιση, μέση τιμή, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας)PD FS | 32 |
| Εικόνα 23: Πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος αντίθεσης, ασυμμετρία, εύρος ομοιογένειας, αντίθεση) T2 STIR. | 33 |
| Εικόνα 24: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (ασυμμετρία, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, μέση τιμή, τυπική απόκλιση) PD FS | 33 |
| Εικόνα 25: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία, εύρος αντίθεσης, αντίθεση) T2 STIR..... | 33 |
| Εικόνα 26: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό(μέση τιμή, ασυμμετρία, ενέργεια, τυπική απόκλιση, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας) PD FS..... | 34 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 27: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση) T2 STIR | 34 |
| Εικόνα 28: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό(ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή) SAG PD FS | 34 |
| Εικόνα 29: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας) SAG PD FS..... | 35 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|----|
| Πίνακας 1: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την Short Tau Inversion Recovery (STIR)..... | 14 |
| Πίνακας 2: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την proton density (PD) FAST SPIN ECHO FSE με FAT SAT..... | 15 |
| Πίνακας 3: Στατιστικά σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες Ερυθροποίηση (BME) PD και τραυματισμό από οίδημα (INJ) PD..... | 24 |
| Πίνακας 4: Στατιστικά σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες Ερυθροποίηση (BME) STIR vs οστικό οίδημα απο κάκωση (INJ) STIR..... | 24 |
| Πίνακας 5: Στατιστικά σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες Ερυθροποίηση μυελου (BME) STIR vs Οστεοαρθρίτιδα (OST) STIR..... | 24 |
| Πίνακας 6: Στατιστικά σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες Ερυθροποίηση (BME) PD vs Οστεοαρθρίτιδα (OST) PD..... | 25 |
| Πίνακας 7: Στατιστικά σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες Οστεοαρθρίτιδα (OST) PD FS vs οστικό οίδημα απο κάκωση (INJ) PD..... | 25 |
| Πίνακας 8: Τα παθολογικά versus τα φυσιολογικά για SAG PD FS..... | 25 |
| Πίνακας 9: Στατιστικά σημαντικές διαφορές των παθολογικών versus των φυσιολογικών για T2 STIR..... | 27 |
| Πίνακας 10: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδυασμού SAG PS FS NORMAL vs PATHOLOGICAL..... | 35 |
| Πίνακας 11: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδυασμού STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL..... | 36 |
| Πίνακας 12: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδυασμού SAG PD FS BME vs INJ..... | 37 |
| Πίνακας 13: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδυασμού STIR BME vs INJ..... | 38 |
| Πίνακας 14: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδυασμού SAG PD FS OST vs INJ..... | 38 |
| Πίνακας 15: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδυασμού STIR OST vs INJ..... | 39 |
| Πίνακας 16: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδυασμού SAG PD FS BME vs OST..... | 40 |
| Πίνακας 17: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδυασμού STIR BME vs OST..... | 41 |

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο μαγνητικός τομογράφος που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη των εξετάσεων είναι το SIGNA HDX Twin Speed 1,5 T με τετρακάναλο πηνίο του γόνατος. Οι εξετάσεις διεξάχθηκαν στη κλινική ANIMUS ΚΥΑΝΟΥΣ ΣΤΑΥΡΟΣ στη Λάρισα. Οι ακολουθίες που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία αυτή είναι Short Tau Inversion Recovery (STIR) ακολουθία και η PROTON DENSITY (PD) FAST SPIN ECHO FSE ακολουθία με καταστολή λίπους (fat saturation) σε οβελιαίες τομές. Επιλέχθηκαν εικόνες από ασθενείς που υποβάλλονταν σε εξέταση μαγνητικής τομογραφίας λόγω γοναλγίας και με βάση το ιστορικό που διαγνώστηκαν με αρθρίτιδα, με οστικό οίδημα και με φυσιολογική ερυθροποίηση μυελού. Οι συγκεκριμένες ακολουθίες έχουν ενισχυμένο σήμα στις περιπτώσεις οιδήματος του μυελού, αρθρίτιδας και μυελού των οστών. Αξιολογώντας λοιπόν, την περιοχή με το ενισχυμένο σήμα και σε συνδυασμό με το ιστορικό του ασθενούς περιεγράφηκαν οι περιοχές ενδιαφέροντος που χρησιμοποιήθηκαν για την στατιστική ανάλυση. Σε κάθε ασθενή πάρθηκαν 2 ROIs ένα για κάθε ακολουθία. Η επιλογή των περιοχών ενδιαφέροντος (region of interest-ROI) έγινε χειροκίνητα περιγράφοντας την περιοχή που θεωρούνταν κάθε φορά παθολογία. Σε σύνολο λοιπόν, 92 ασθενών που προσήλθαν στην κλινική χωρίστηκαν με βάση το ιστορικό και την διάγνωση τους όπως προαναφέρθηκε σε τρεις κατηγορίες. Ασθενείς με οστικό οίδημα από κάκωση το οποίο στην εργασία αυτή το ονομάζουμε injury (INJ), ασθενείς με οστεοαρθρίτιδα που στην εργασία χρησιμοποιούμε την ονομασία osteoarthritis (OST) και ασθενείς με ερυθροποίηση μυελού που το ονομάζουμε bone marrow edema (BME). Οι ασθενείς έχουν μέσο όρο ηλικίας 42 ετών. Στην κατηγορία injury (INJ) ανήκουν 31 ασθενείς 19 άντρες 12 γυναίκες. Στην κατηγορία osteoarthritis (OST) ανήκουν 38 ασθενείς 15 άντρες και 23 γυναίκες. Στην κατηγορία bone marrow edema (BME) ανήκουν 29 ασθενείς 9 άντρες και 20 γυναίκες. Οι τρεις κατηγορίες χωρίστηκαν σε 2 τα φυσιολογικά και τα παθολογικά για τις ακολουθίες SAG PD FS και T2 STIR. Η κατηγορία των φυσιολογικών περιλαμβάνει την κατηγορία BME και η κατηγορία των παθολογικών περιλαμβάνει τα INJ και τα OST.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλοί ασθενείς παραπέμπονται για μαγνητική τομογραφία επειδή έχουν άλγος στα γόνατα. Δεν είναι δύσκολο να εντοπιστούν οι περισσότερες από τις κοινές αιτίες του πόνου στο γόνατο με μαγνητική τομογραφία, συμπεριλαμβανομένης της εσωτερικής διαταραχής π.χ. της αρθρίτιδας, καθώς και των οστικών, χονδρικών και μυϊκών βλαβών. Ο οστικός μολωπισμός (οστικό οίδημα) στην περιοχή του γόνατος είναι τις περισσότερες φορές αποτέλεσμα συνδεσμικών κακώσεων. Η οστεοαρθρίτιδα, από την άλλη μπορεί να παρουσιάσει αντιδραστικό οστικό οίδημα και έχει χαρακτηριστική απεικόνιση με διαταραχή του άξονα του γόνατος μικρού οστικού οιδήματος στην περιφέρεια του κνημιαίου και του μηριαίου κονδύλου, με συνοδό εκφύλιση του μηνίσκου. Η εικόνα στη μαγνητική τομογραφία για τις ακολουθίες που είναι στα πλαίσια του πρωτοκόλλου ενός γόνατος PD FS και STIR εμφανίζει υψηλής έντασης σήματος. Πολλές φορές ο φυσιολογικός μυελός των οστών παρουσιάζει την ίδια υψηλής έντασης σήματος.

1.1 Σκοπός Εργασίας

Σκοπός της εργασίας είναι να δημιουργηθεί ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο θα χρησιμοποιεί τεχνικές ανάλυσης ψηφιακής εικόνας για την αποτίμηση της διαφοροποίησης μεταξύ εικόνων MRI σε γόνατα από φυσιολογικό μυελό των οστών, αρθρίτιδας και οστικού οιδήματος από τραυματισμό.

1.2 Ανατομία Άρθρωσης του Γόνατος

Το γόνατο είναι η μεγαλύτερη και πολυπλοκότερη άρθρωση του σώματος [1]. Τα οστικά στοιχεία του γόνατος που συμμετέχουν στην άρθρωση είναι: οι μηριαίοι κόνδυλοι, οι κνημιαίοι κόνδυλοι και η επιγονατίδα.

Η διάρθρωση του γόνατος σχηματίζεται από το κάτω άκρο του μηριαίου οστού, το άνω άκρο της κνήμης και από την επιγονατίδα. Στο κάτω άκρο του μηριαίου οστού (**Εικόνα 1**) και (**Εικόνα 2**) βρίσκονται οι δύο μηριαίοι κόνδυλοι (έσω-έξω), οι οποίοι συντάσσονται με τα ανάλογα ογκώματα της κνήμης. Ο έσω μηριαίος κόνδυλος έχει μεγαλύτερο μέγεθος και προβάλλει περιφερικότερα από τον έξω, ο οποίος προβάλλει περισσότερο προς τα εμπρός. Οι δύο μηριαίοι κόνδυλοι ενώνονται στην πρόσθια επιφάνεια του κάτω άκρου του μηριαίου οστού στη μηριαία τροχιλία και χωρίζονται στην οπίσθια και κάτω επιφάνεια με την μεσοκονδύλιο εντομή. Στη μεσοκονδύλιο εντομή, προσφύονται οι χιαστοί σύνδεσμοι. Στην έξω επιφάνεια του έξω μηριαίου κόνδylου και στην έξω επιφάνεια του έσω μηριαίου κόνδylου διακρίνονται το έξω και έσω υπερκονδύλιο κύρτωμα στα οποία προσφύονται οι πλάγιοι σύνδεσμοι. Η κάτω επιφάνεια κάθε μηριαίου κόνδylου αρθρούται με την άνω επιφάνεια του σύστοιχου κνημιαίου κόνδylου. Το άνω άκρο της κνήμης εμφανίζει δύο ογκώματα, τον έσω κνημιαίο κόνδυλο και τον έξω κνημιαίο κόνδυλο. Η άνω επιφάνεια κάθε κνημιαίου κόνδylου παρουσιάζει την κνημιαία γλήνη η οποία καλύπτεται από αρθρικό χόνδρο και συντάσσεται με την κάτω αρθρική επιφάνεια του σύστοιχου μηριαίου κόνδylου. Στο μέσο των δύο κνημιαίων κόνδylων υπάρχει το μεσογλήνιο έπαρμα το οποίο διαιρείται στο έσω και στο έξω γληνιαίο φύμα. Μπροστά και πίσω από το μεσογλήνιο έπαρμα διακρίνουμε τον πρόσθιο και οπίσθιο μεσογλήνιο βόθρο.

Από τον πρόσθιο μεσογλήνιο βόθρο εκφύεται ο πρόσθιος χιαστός σύνδεσμος και οι δύο διάρθριοι μηνίσκοι. Από τον οπίσθιο μεσογλήνιο βόθρο εκφύεται ο οπίσθιος χιαστός σύνδεσμος. Στην πρόσθια επιφάνεια κνήμης υπάρχει το κνημιαίο κύρτωμα στο οποίο καταφύεται ο επιγονατιδικός σύνδεσμος. Στην πρόσθια επιφάνεια του έξω κνημιαίου κόνδylου, πάνω και έξω από το κνημιαίο κύρτωμα παρουσιάζεται το φύμα του πρόσθιου

κνημιαίου μυ. Στην πρόσθια επιφάνεια του έξω κνημιαίου κονδύλου απαντάται η περνιαία αρθρική επιφάνεια



Εικόνα 1: Δεξί μηριαίο κάτω μέρος A: πρόσθια όψη B: οπίσθια όψη



Εικόνα 2: Δεξί μηριαίο κάτω μέρος C: έσω όψη, D: έξω όψη

Η επιγονατίδα (**Εικόνα 3**) είναι ένα ενδοτενοντόιο σησαμοειδές οστό, το μεγαλύτερο στο ανθρώπινο σώμα, με διάμετρο περίπου 5 cm, βρίσκεται στην πρόσθια επιφάνεια του γόνατος. Παρουσιάζει ανάστροφο τριγωνικό σχήμα με τη βάση προς τα πάνω και την κορυφή προς τα κάτω. Το τριγωνικό σχήμα της επιγονατίδας της επιγονατίδας εξυπηρετεί τρεις λειτουργίες:

1. προσφέρει υπομόχλιο στον τετρακέφαλο μηριαίο μυ
2. προστατεύει την άρθρωση του γόνατος
3. βελτιώνει αισθητικά την πρόσθια επιφάνεια του γόνατος

Στην επιγονατίδα διακρίνουμε:

- i) την πρόσθια και την οπίσθια επιφάνεια
- ii) τα δύο πλάγια χείλη
- iii) τη βάση και την κορυφή

Στη βάση και στη πρόσθια επιφάνεια της επιγονατίδας έχει τις καταφύσεις του ο τετρακέφαλος μυς. Από τα πλάγια χείλη και τη κορυφή εκφύεται ο επιγονατιδικός σύνδεσμος. Η επιγονατίδα συντάσσεται με την οπίσθια επιφάνειά της, η οποία είναι αρθρική με τη μηριαία τροχιλία(**Εικόνα 4**).



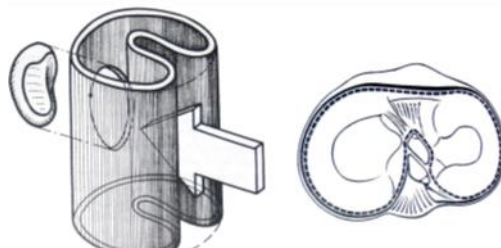
Εικόνα 3: Δεξιά επιγονατίδα A: Πρόσθια όψη B: αρθρική επιφάνεια



Εικόνα 4: Αριστερό μηριαίο και επιγονατίδα. E: Κάτω όψη με το γόνατο σε έκταση. F: Κάτω οπίσθια όψη με το γόνατο σε κάμψη

Τέλος την επιγονατίδα διασχίζει μια ακρολοφία. Με κάθετη φορά που καλείται οδηγός ακρολοφία. Η ακρολοφία αυτή παίζει ρόλο οδηγού στην άρθρωση του γονάτος κατά τη διάρκεια των κινήσεων της ολισθαίνει μέσα στον αυχένα της μηριαίας τροχιλίας. Ο αρθρικός θύλακος είναι ένας ινώδης σάκος που επενδύει το κάτω άκρο του μηριαίου οστού και το άνω άκρο της κνήμης. Ο αρθρικός θύλακος διατηρεί τα δύο οστά σε επαφή και σχηματίζει το μη οστέινο τοίχωμα της αρθρικής κοιλότητας. Η εν τω βάθει επιφάνεια του καλύπτεται από τον αρθρικό υμένα.

Το γενικό σχήμα του αρθρικού θύλακου μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητό αν συγκριθεί με κύλινδρο (**Εικόνα 5**) ο οποίος σχηματίζει εγκόλπωμα στην πρόσθια επιφάνειά του.



Εικόνα 5: Γενικό σχήμα του αρθρικού θύλακου.

Στην οπίσθια επιφάνεια του κυλίνδρου δημιουργείται χώρος για την υποδοχή της επιγονατίδας. Τα άνω και κάτω άκρα του κυλίνδρου συνδέονται στο μηριαίο και την κνήμη αντίστοιχα. Ο αρθρικός θύλακος προσφύεται:

1. Στο μηριαίο, στην πρόσθια επιφάνειά του και σε μια απόσταση 24cm περίπου από την μηριαία τροχιλία και από τους μηριαίους κονδύλους και στο πλάι κοντά στις αρθρικές επιφάνειες.

2. Στη κνήμη, στη περιφέρεια των αρθρικών γληνών σε μια απόσταση 3-4mm περίπου από τον αρθρικό τους χόνδρο, εκτός από τον πρόσθιο και οπίσθιο μεσογλήνιο βόθρο, οι οποίοι παραμένουν έξω από τον αρθρικό θύλακα

3. Στην επιγονατίδα, στην παρυφή του αρθρικού χόνδρου

Ο αρθρικός θύλακας προσφύεται ακόμη στη βάση των δύο μηνίσκων (εκτός από το οπίσθιο τμήμα του έξω μηνίσκου). Ανάμεσα στις δύο αρθρικές επιφάνειες που συμμετέχουν στη κατασκευή της άρθρωσης του γονάτος παρεμβάλλονται οι δύο ινοχονδρινοί μηννοειδείς δίσκοι, ο έσω και ο έξω μηνίσκος (**Εικόνα 6**).

Ο κάθε ένας από τους μηνίσκους καταλαμβάνει τα δύο έξω τριτημόρια της σύστοιχης κνημιαίας γλήνης και έχει πλάτος 1,3 cm περίπου. Κάθε μηνίσκος παρουσιάζει:

- δύο χείλη (το έσω και το έξω)
- δύο επιφάνειες (την άνω και την κάτω)
- δύο κέρατα (το πρόσθιο και το οπίσθιο)



Εικόνα 6: Αριστερή κατά γόνου άρθρωση. Άνω όψη μετά την αφαίρεση μηριαίου οστού

Το έξω χείλος είναι υποκυρτό και παχύτερο και συμφύεται με τον ινώδη θύλακα της άρθρωσης. Το έσω χείλος είναι υπόκοιλο και λεπτότερο και δεν συμφύεται πουθενά. Η άνω επιφάνεια είναι υπόκοιλη και ενώνεται με το σύστοιχο μηριαίο κόνδυλο. Η κάτω επιφάνεια είναι επίπεδη και ολισθαίνει πάνω στη σύστοιχη κνημιαία γλήνη. Τα κέρατα (πρόσθιο-οπίσθιο) προσφύονται στον πρόσθιο και οπίσθιο μεσογλήνιο βόθρο. Ο έξω μηνίσκος είναι πιο μικρός και πιο στρογγυλός από τον έσω μηνίσκο. Έχει σχήμα κλειστού C, το άνοιγμα του είναι 20°-30° και η περιφέρειά του διαγράφει τόξο 330°- 340°. Ο έξω μηνίσκος είναι περισσότερο ευκίνητος από τον έσω και τραυματίζεται δυσκολότερα.

Το πρόσθιο κέρατο του έξω μηνίσκου προσφύεται μπροστά από το μεσογλήνιο έπαρμα, ενώ το οπίσθιο στην οπίσθια επιφάνεια του μεσογλήνιου επάρματος. Ο έσω μηνίσκος είναι μεγαλύτερος και πλατύτερος προς τα πίσω, απ' ότι ο έξω μηνίσκος. Έχει σχήμα C, το άνοιγμα του είναι 90°- 100° και η περιφέρειά του διαγράφει τόξο 250°-270°.

Το πρόσθιο κέρατο του έσω μηνίσκου προσφύεται στον πρόσθιο μεσογλήνιο βόθρο, ενώ το οπίσθιο στον οπίσθιο μεσογλήνιο βόθρο. Οι δύο μηνίσκοι ενώνονται μπροστά με το εγκάρσιο σύνδεσμο του γονάτος. Οι μηνίσκοι διαιρούν την κνημομηριαία άρθρωση στην

i) άνω ή μηνισκομηριαία, στην οποία παρουσιάζεται η κίνηση κάμψης έκτασης

ii) κάτω ή μηνισκοκνημιαία, στην οποία παρουσιάζεται η κίνηση έσω και έξω στροφής, όταν το γόνατο είναι σε κάμψη.

Η αγγείωση των μηνίσκων γίνεται με δύο ζώνες, την κεντρική που στερείται αγγείων, και τη περιφερική, που αγγειώνει τον μηνίσκο από τον αρθρικό υμένα. Η διατροφή της κεντρικής ζώνης εξασφαλίζεται από το ενδοαρθρικό υγρό. Η νεύρωση των μηνίσκων γίνεται από κλώνους του κνημιαίου νεύρου.

Οι μηνίσκοι παρουσιάζουν αξιόλογο ρόλο. Επωμίζονται φορτία κατά την ομαλή ή ανώμαλη λειτουργία της άρθρωσης του γόνατος. Αμβλύνουν τις πιέσεις που δέχεται η άρθρωση του γόνατος και αυξάνουν την στηρικτική επιφάνεια επαφής του μηρού-κνήμης, η οποία είναι 20,13 cm² και για τις δύο μηροκνημιαίες αρθρώσεις. Τέλος, συνεισφέρουν το 50% περίπου, στη σωστή αρχιτεκτονική σταθερότητα της άρθρωσης και λιπαίνουν τις αρθρικές επιφάνειες.

Η ισχύς και η σταθερότητα της άρθρωσης του γόνατος δεν εξαρτάται μόνο από το σχήμα των αρθρουμένων οστών, αλλά κυρίως από τους ισχυρούς συνδέσμους που περιβάλλουν την άρθρωση και από τα ισχυρά μυϊκά συστήματα που ελέγχουν τις κινήσεις της άρθρωσης αυτής. Η άρθρωση του γόνατος είναι μια σύνθετη άρθρωση και αποτελείται από δύο διαρθρώσεις:

1) την κνημομηριαία, η οποία σχηματίζεται από τους κονδύλους του μηριαίου οστού και τους κονδύλους της κνήμης, μεταξύ των οποίων βρίσκονται οι μηνίσκοι

2) την επιγονατιδομηριαία, η οποία σχηματίζεται από τη μηριαία τροχιλία και την οπίσθια αρθρική επιφάνεια της επιγονατίδας

Οι σύνδεσμοι οι οποίοι βρίσκονται στην άρθρωση του γόνατος και την ενισχύουν είναι:

A) Πρόσθιοι Σύνδεσμοι

- ο επιγονατιδικός, αποτελεί συνέχεια του τένοντα του τετρακέφαλου και εκτείνεται από τη κορυφή της επιγονατίδας μέχρι το κνημιαίο κύρτωμα της επιγονατίδας
- οι καθεκτικοί σύνδεσμοι της επιγονατίδας, πρόκειται για ινώδη πέταλα και εκτείνονται και από τις δύο μεριές των υπερκονδύλιων κυρτωμάτων μέχρι την επιγονατίδα και το κνημιαίο κύρτωμα.

B) Πλάγιοι Σύνδεσμοι

i) Ο έσω πλάγιος σύνδεσμος, 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.

ii) Ο έξω πλάγιος σύνδεσμος, ο οποίος εκφύεται από το έξω υπερκονδύλιο κύρτωμα και καταφύεται στη κεφαλή της περόνης, είναι τελείως χωρισμένος από τον αρθρικό θύλακα.

Γ) Οπίσθιοι Σύνδεσμοι

i) Ο λοξός ιγνυακός σύνδεσμος, ο οποίος είναι προέκταση του ημιυμενώδη, μπλέκεται με τον αρθρικό θύλακα στην οπίσθια επιφάνεια, ενισχύει την άρθρωση του γόνατος από την πίσω επιφάνεια.

ii) Ο τοξοειδής ιγνυακός σύνδεσμος, 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.

Δ) Χιαστοί Σύνδεσμοι

Ο σύνδεσμοι αυτοί βρίσκονται μέσα στην άρθρωση.

i) ο πρόσθιος χιαστός σύνδεσμος, ο οποίος εκφύεται από τον πρόσθιο μεσογλήνιο βόθρο με φορά προς τα πάνω, πίσω, έξω και καταφύεται στη μεσοκονδύλιο επιφάνεια του έξω κονδύλου

ii) ο οπίσθιος χιαστός σύνδεσμος, ο οποίος εκφύεται από τον οπίσθιο μεσογλήνιο βόθρο με φορά προς τα πάνω, εμπρός, έσω και καταφύεται στη μεσοκονδύλιο επιφάνεια του έσω κονδύλου [1]

1.3 Παθολογίες Γονάτου

1.3.1 Οστεοαρθρίτιδα

Η οστεοαρθρίτιδα (**Εικόνα 7**) είναι μία χρόνια πάθηση των αρθρώσεων, στην οποία παρατηρείται προοδευτική μαλάκυνση και αποδόμηση του αρθρικού χόνδρου, η οποία συνοδεύεται από ανάπτυξη νέου οστού και χόνδρου στις παραφές των αρθρώσεων (οστεόφυτα), καθώς και από ίνωση του αρθρικού θυλάκου. Η οστεοαρθρίτιδα διαφέρει από την απλή φθορά, σε διάφορα σημεία: Έχει ασύμμετρη κατανομή και συχνά εντοπίζεται μόνο σε ένα διαμέρισμα μίας άρθρωσης. Συνήθως σχετίζεται με παθολογικά φορτία παρά σε φθορά από τριβή. Στην πιο συχνή της μορφή, δεν έχει καμία άλλη συστηματική εκδήλωση και παρά το γεγονός ότι ορισμένες φορές μπορεί να παρατηρηθούν σημεία φλεγμονής τοπικά, η ίδια η πάθηση δεν είναι φλεγμονώδους αιτιολογίας. Είναι μία δυναμική πάθηση η οποία παρουσιάζει στον ίδιο χρόνο χαρακτηριστικά τόσο καταστροφής όσο και επιδιόρθωσης [2,3].



Εικόνα 7: T2 STIR οστεοαρθρίτιδα έσω μηριαίου κονδύλου

Η οστεοαρθρίτιδα είναι η συχνότερη από όλες τις παθήσεις των αρθρώσεων. Είναι μια πραγματικά παγκόσμια πάθηση η οποία προσβάλλει άνδρες και γυναίκες όλων των φυλών. Οποιοσδήποτε ζήσει αρκετά χρόνια, θα αναπτύξει οστεοαρθρίτιδα κάποιου βαθμού σε κάποιο σημείο του σώματος του. Παρόλα αυτά υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη συχνότητα εμφάνισης μεταξύ διαφορετικών εθνικών ομάδων, μεταξύ των δύο φύλων και μεταξύ των διαφόρων αρθρώσεων. Οι αναφορές για την συχνότητα εμφάνισης ποικίλουν ανάλογα με τη μέθοδο εκτίμησης. Οι νεκροτομικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι οστεοαρθρικές αλλοιώσεις υπάρχουν σε οποιονδήποτε μετά την ηλικία των 65 ετών. Οι ακτινολογικές μελέτες κάνουν την υπόθεση ότι η συχνότητα αυξάνει από 1% σε ηλικίες κάτω των 30 ετών σε πάνω από 50% σε ανθρώπους ηλικίας μεγαλύτερης των 60 ετών. Η οστεοαρθρίτιδα των αρθρώσεων των δακτύλων είναι ιδιαίτερα συχνή σε ηλικιωμένες γυναίκες και παρατηρείται σε ποσοστό περισσότερο του 70% σε γυναίκες μεγαλύτερες των 70 ετών. Οι άνδρες και οι γυναίκες αναπτύσσουν οστεοαρθρίτιδα εξ ίσου αλλά στις γυναίκες προσβάλλονται περισσότερες αρθρώσεις από ότι στους άνδρες. Η οστεοαρθρίτιδα είναι πολύ πιο συχνή σε

ορισμένες αρθρώσεις (των δακτύλων, του ισχίου, του γόνατος και της σπονδυλικής στήλης) παρά σε άλλες (αγκώνας, καρπός, ποδοκνημική). Αυτή η παρατήρηση μπορεί απλά να αντανakλά το γεγονός ότι ορισμένες αρθρώσεις είναι περισσότερο ευαίσθητες σε προϋπάρχουσες διαταραχές από άλλες. Μια παρόμοια ερμηνεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις διαφορές συχνότητας που παρατηρούνται μεταξύ γεωγραφικών περιοχών και εθνικοτήτων. π.χ. η σχέση γυναικών προς άνδρες στην οστεοαρθρίτιδα του ισχίου είναι περίπου 1:1 στη Βόρεια Ευρώπη, αλλά 2:1 στη Νότιο όπου υπάρχει μία αυξημένη συχνότητα δυσπλασίας της κοτύλης στα κορίτσια. Ένα ακόμη πιο εντυπωσιακό παράδειγμα είναι η σχεδόν παντελής απουσία περιπτώσεων οστεοαρθρίτιδας του ισχίου στη Νότιο Κίνα και στην Αφρική [4]. Αυτή μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι οι προδιαθεσικοί παράγοντες όπως η αναπτυξιακή δυσπλασία του ισχίου, η επιφυσιολίσθηση και η νόσος του Perthes είναι σπάνιες σε αυτούς τους πληθυσμούς. Αυτό το γεγονός δεν σημαίνει ότι έχουν μία συνολική ανοσία στην οστεοαρθρίτιδα καθώς μπορεί να αναπτύξουν την πάθηση σε άλλες αρθρώσεις όπως το γόνατο[4].

1.3.2 Οίδημα του μυελού των οστών

Το οίδημα του μυελού των οστών είναι μια κατάσταση όπου η περίσσεια υγρών στον μυελό των οστών συσσωρεύεται και προκαλεί οίδημα. Συχνά προκαλείται από μια ανταπόκριση σε τραυματισμό, όπως σπασμένο οστό ή μελάνιασμα, ή πιο χρόνιες καταστάσεις όπως η οστεοπόρωση. Το οίδημα του μυελού των οστών εμφανίζεται συχνότερα στους γοφούς, τα γόνατα και τους αστραγάλους. Σε αυτή την περίπτωση, το οίδημα του γόνατος του μυελού των οστών είναι κύρια αιτία τοπικού πόνου στο γόνατο (**Εικόνα 8**) και στις αρθρώσεις και είναι διαγνωστέα μόνο μέσω μιας δοκιμής μαγνητικού συντονισμού μαγνητικού συντονισμού (MRI)[8].



Εικόνα 8: PD FS CORONAL οστικό οίδημα έξω μηριαίου κονδύλου [9].

1.3.3 Ερυθροποίηση Μυελού

Η ερυθροποίηση (**Εικόνα 9**) είναι μια σύνθετη διαδικασία πολλαπλών σταδίων που περιλαμβάνει τη διαφοροποίηση των αιματοποιητικών βλαστικών κυττάρων (HSCs) σε ώριμα ερυθροκύτταρα (ερυθρά αιμοσφαίρια, RBCs). Συγκεκριμένα, η διαδικασία παραγωγής ωρίμων ερυθροκυττάρων γίνεται στο μυελό των οστών. Το σύνολο των κυττάρων που μετέχουν σε αυτήν από το πρώτο "δεσμευμένο" προς την ερυθροποίηση αρχέγονο κύτταρο ως τα ώριμα ερυθρά αιμοσφαίρια, αποτελούν την ερυθρά σειρά. Ο μυελός των οστών ουσιαστικά όλων των οστών παράγει ερυθρά αιμοσφαίρια έως ότου ένα άτομο να φθάσει την ηλικία περίπου πέντε ετών. Η κνήμη και το μηριαίο παύουν να αποτελούν σημαντικές

θέσεις αιματοποίησης μέχρι την ηλικία των 25 ετών. Αντίθετα, οι σπόνδυλοι, το στέρνο, τη λεκάνη και τα κρανιακά οστά συνεχίζουν να παράγουν ερυθρά αιμοσφαίρια καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του ανθρώπου [6,7].



Εικόνα 9: Proton Density Fat Sat (PD FS) SAGITTAL Ερυθροποίηση μυελού [6].

1.4 Απεικόνιση Γόνατος με Μαγνητική Τομογραφία

Οι απεικονιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση του γόνατος είναι ο απλός ακτινογραφικός έλεγχος, η αξονική τομογραφία και η μαγνητική τομογραφία.

Η απλή ακτινογραφία βοηθά στην απεικόνιση στην περίπτωση της οστεοαρθρίτιδας καθώς μπορεί να απεικονίσει την ύπαρξη οστεοφύτων, καταγμάτων, υποχόνδρες κύστεις, χονδρασβεστώσεις.

Η αξονική τομογραφία βοηθά συμπληρωματικά στην απεικόνιση των οστεοαρθρίτιδας, οστεοφύτων, χονδρασβεστώσεων, καταγμάτων.

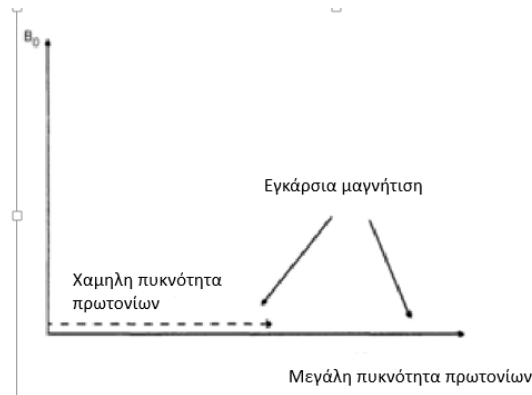
Η μαγνητική τομογραφία απεικονίζει την τενοντίτιδα, παθήσεις των αρθρικών χόνδρων, μηνίσκου οστικούς μώλωπες ή και οιδήματα μυελού των οστών, κύστεις, όγκους οστεονέκρωσεις.

1.4.1 Ακολουθία Πυκνότητας Πρωτονίων -Proton Density Spin Echo (PD SE)

Μία εικόνα προσανατολισμού πυκνότητας πρωτονίων (**Εικόνα 10**) οι διαφορές στις πυκνότητες πρωτονίων (αριθμός των πρωτονίων υδρογόνου στον ιστό) πρέπει να παρουσιαστούν. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να ελαχιστοποιηθούν οι T1 και T2 συνεισφορές στην αντίθεση της εικόνας. Η συνεισφορά T1 μειώνεται επιλέγοντας ένα μεγάλο χρόνο επανάληψης, ενώ οι συνεισφορές T2 ελαχιστοποιούνται επιλέγοντας ένα βραχύ χρόνο ηχούς.

- Οι ιστοί με χαμηλή πυκνότητα πρωτονίων είναι σκοτεινοί (χαμηλή ένταση σήματος), διότι ο μικρός αριθμός πρωτονίων έχει ως αποτέλεσμα μικρή συνιστώσα εγκάρσιας μαγνήτισης.

- Οι ιστοί με υψηλή πυκνότητα πρωτονίων είναι φωτεινοί (υψηλή ένταση σήματος), γιατί ο μεγάλος αριθμός πρωτονίων έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη συνιστώσα εγκάρσιας μαγνήτισης.



Εικόνα 10: Αντίθεση πυκνότητας πρωτονίων

Η απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (MRI) είναι η βασική επιλογή έρευνας του πόνου στο γόνατο. Έχει πολύ υψηλή αρνητική προγνωστική αξία και μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή περιττής αρθροσκόπησης γονάτου. Η ακρίβειά του στη διάγνωση των του μηνίσκων και του πρόσθιου συνδέσμου είναι μεγαλύτερη από 89%. Έχει ευαισθησία μεγαλύτερη από 90% για την ανίχνευση μεσαίων μηνισκικών δακρύων και είναι πιθανότατα καλύτερα στην αξιολόγηση του οπίσθιου κέρατος από την αρθροσκόπηση. Η μαγνητική τομογραφία λοιπόν, συμβάλει στη διάγνωση της οστεοαρθρίτιδας και του οστικού οιδήματος.

1.4.2 Ακολουθία Ανάκτησης Αναστροφής με βραχύ TI (Short Time of inversion recovery-STIR)

Η STIR χρησιμοποιείται ευρέως για την καταστολή λίπους επειδή με αξιοπιστία μειώνει το σήμα του λίπους σε όλες τις εντάσεις των μαγνητικών πεδίων. Μια τυπική STIR ακολουθία αντιστρέφει την διαμήκη μαγνήτιση τόσο στο λίπος όσο και στο νερό με την εφαρμογή του παλμού αναστροφής 180° , μετά από το οποίο ακολουθεί TI με μερικά εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου. Για την καταστολή του λίπους το TI ρυθμίζεται έτσι ώστε ο παλμός διέγερσης 90° να εφαρμόζεται την στιγμή που η διαμήκης συνιστώσα μαγνήτισης του λίπους να είναι μηδέν (σημείο μηδενισμού). Το TI για το κορεσμό του λίπους είναι περίπου 150 ms σε μαγνητικό πεδίο 1.5 Tesla και περίπου 100 ms 0.5 Tesla.

1.4.3 Δομή Μαγνητικού Τομογράφου

Οι εμπορικά διαθέσιμοι μαγνητικοί τομογράφοι (**Εικόνα 11**) ποικίλλουν σε δυνατότητες και τεχνολογικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, υπάρχουν βασικά τμήματα που διαθέτουν όλα τα συστήματα. Η κύρια συνιστώσα του συστήματος είναι ο βασικός μαγνήτης που παράγει το στατικό πεδίο B_0 . Η ένταση του στατικού μαγνητικού πεδίου (B_0) επηρεάζει την ένταση του ανιχνευόμενου σήματος FID. Γενικά ισχύει ο κανόνας: μεγαλύτερη ένταση πεδίου-ισχυρότερο σήμα FID - καλύτερη ποιότητα εικόνας. Αύξηση της έντασης του πεδίου προκαλεί αύξηση του αριθμού των προσανατολισμένων πρωτονίων (και της πυκνότητας spin). Από τον αριθμό αυτόν εξαρτάται η συνολική μαγνήτιση M η οποία καθορίζει την ένταση του σήματος FID. Υπάρχουν τρεις τύποι μαγνητών που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα απεικόνισης:

- οι μόνιμοι μαγνήτες (permanent magnets),

- οι υπεραγώγιμοι μαγνήτες (superconductive magnets) και
- οι μαγνήτες αντιστάσεως (resistive magnets) ή κλασικοί ηλεκτρο-μαγνήτες. Οι μόνιμοι μαγνήτες κατασκευάζονται από κάποιο μόνιμα μαγνητισμένο υλικό. Συνήθως πρόκειται για κράμα κοβαλτίου-σπάνιων γαιών (σαμαρίου).

Οι υπεραγώγιμοι και οι μαγνήτες αντιστάσεων αποτελούνται από πηνία ή σωληνοειδή που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Λειτουργούν με βάση την αρχή της παραγωγής μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον ενός ρευματοφόρου αγωγού.

Στην περίπτωση των υπεραγώγιμων μαγνητών το υλικό κατασκευής επιλέγεται ώστε να παρουσιάζει το φαινόμενο της υπεραγωγιμότητας (superconductivity). Δηλαδή το φαινόμενο κατά το οποίο συμβαίνει μηδενισμός της ηλεκτρικής αντίστασης σε χαμηλές θερμοκρασίες (χαμηλότερες από μια ορισμένη τιμή, που διαφέρει για κάθε υλικό). Εκτός από τον βασικό μαγνήτη ένα σύστημα απεικόνισης διαθέτει τρία ακόμα είδη πηνίων (**Εικόνα 12**):

1. Πηνία βαθμίδας (gradient coils). Για την παραγωγή των βαθμιδωτών πεδίων και το χωρικό προσδιορισμό της απεικονιζόμενης περιοχής. Ανάλογα με την τομή στο σώμα που θέλουμε να πάρουμε, εφαρμόζουμε ένα πεδίο κάθετο σε αυτή. Η συχνότητα Larmor μεταβάλλεται συναρτήσει της θέσης των πρωτονίων στους 3 άξονες.

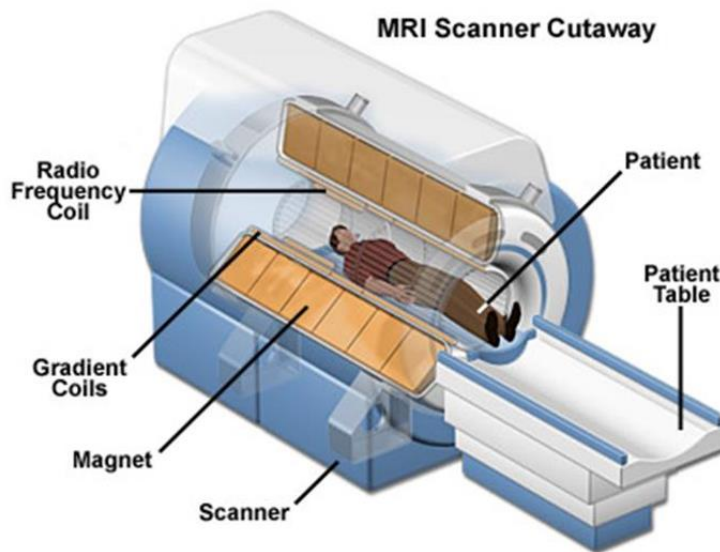
2. Πηνία εξομάλυνσης (shim coils). Για την εξομάλυνση των τοπικών ανομοιογενειών του στατικού μαγνητικού πεδίου. Σχηματίζουν έναν κλωβό γύρω από τον εξεταζόμενο.

3. Πηνία RF (RF coils). Για την παραγωγή παλμών RF και την ανίχνευση σημάτων FID.

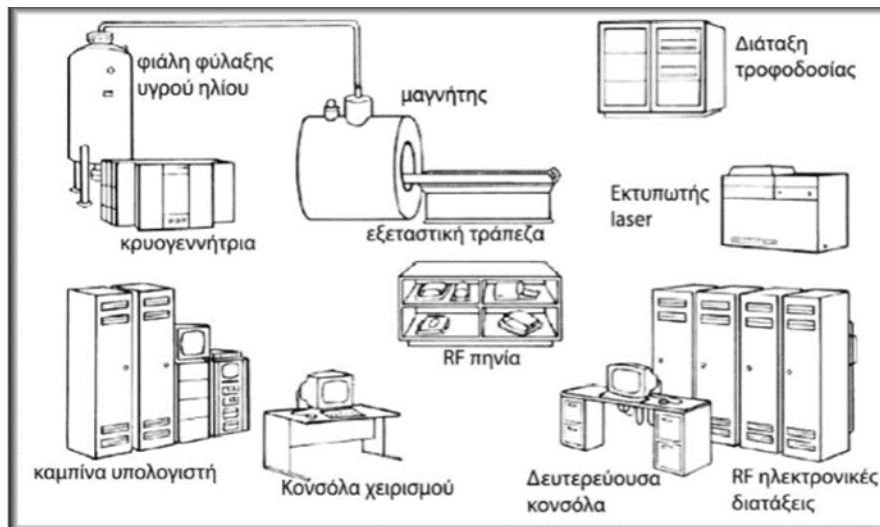
Τέλος ένα απεικονιστικό σύστημα περιλαμβάνει ηλεκτρονικό υπολογιστή υψηλών επιδόσεων για την ταχεία ανακατασκευή των εικόνων και μια σειρά ηλεκτρονικών διατάξεων (όπως πομπό (transmitter), δέκτη (receiver), αναλογικούς-ψηφιακούς μετατροπείς (Analog – digital converter -ADC) για μετατροπή του αναλογικού σήματος FID σε ψηφιακό κ.λπ. Όλο το σύστημα του μαγνήτη, με τα διάφορα πηνία, βρίσκεται στο βασικό σώμα (ή ικρίωμα-gantry) του μηχανήματος. Το σώμα έχει συνήθως σχήμα, κατά προσέγγιση, ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου με ένα άνοιγμα με σήραγγας (tunnel) στο μέσον της πρόσοψής του. Στο άνοιγμα αυτό εισάγεται ο ασθενής. Το άνοιγμα είναι σημαντικά μεγαλύτερο στα λεγόμενα συστήματα ανοικτών μαγνητών (open magnets). Σε τέτοια συστήματα το βασικό σώμα του μηχανήματος μπορεί να έχει τη μορφή δύο κυλινδρικών δακτυλίων (donuts). Ανάμεσα στους δακτυλίους υπάρχει επαρκής χώρος ώστε να διευκολύνονται επεμβατικές διεργασίες (σε χώρους χειρουργείου). Σε άλλα συστήματα το σώμα του μηχανήματος έχει δύο κυλινδρικά σώματα (πόλοι), εκ των οποίων το ένα βρίσκεται επάνω από τον ασθενή και το άλλο από κάτω. Συνεπώς μεταξύ των πόλων υπάρχει επαρκής χώρος για επεμβάσεις, για εξετάσεις παιδιών και για διευκόλυνση κλειστοφοβικών ασθενών. Το βασικό σώμα του μηχανήματος είναι τοποθετημένο σε κατάλληλα διευθετημένο χώρο που ονομάζεται χώρος εξέτασης (scan room) (**Εικόνα 13**).



Εικόνα 11: Μαγνητικός τομογράφος (εξέταση γόνατος-τοποθεσία ασθενούς)[13]



Εικόνα 12: Δομικά συστατικά του μαγνητικού τομογράφου [12]



Εικόνα 13: Κύρια τμήματα της εγκατάστασης ενός απεικονιστικού συστήματος μαγνητικού συντονισμού [11]

1.5 Ανασκόπηση Προηγούμενων Μελετών

Η δομική εξέλιξη της οστεοαρθρίτιδας του γόνατος αναφέρεται ότι μπορεί να προβλεφθεί από τυχόν αλλοιώσεις του μυελού των οστών στο μηριαίο ή και στο κνημιαίο κόνδυλο. Ωστόσο η παθοφυσιολογία της οστεοαρθρίτιδας δεν έχει ακόμη κατανοηθεί πλήρως. Το αντιδραστικό οστικό οίδημα επί εδάφους οστεοαρθρίτιδας έχει χαρακτηριστική απεικόνιση στην περίπτωση της οστεοαρθρίτιδας με διαταραχή του άξονα του γόνατος του τύπου των kissing lesions, δηλαδή του μικρού οστικού οιδήματος στην περιφέρεια του κνημιαίου και του μηριαίου κονδύλου, με συνοδό εκφύλιση του μηνίσκου. Ωστόσο ο οστικός μολωπισμός (οστικό οίδημα) στην περιοχή του γόνατος είναι τις περισσότερες φορές αποτέλεσμα συνδεσμικών κακώσεων.

Η εικόνα στη μαγνητική τομογραφία για τις ακολουθίες που είναι στα πλαίσια του πρωτοκόλλου ενός γόνατος PD FS και STIR εμφανίζει υψηλής έντασης σήματος. Πολλές φορές ο φυσιολογικός μυελός των οστών παρουσιάζει την ίδια υψηλής έντασης σήματος. Αυτό συμβαίνει γιατί ο μυελός των οστών ουσιαστικά όλων των οστών παράγει ερυθρά αιμοσφαίρια έως ότου ένα άτομο να φτιάσει την ηλικία περίπου πέντε ετών. Η κνήμη και το μηριαίο αποτελούν σημαντικές θέσεις αιματοποίησης μέχρι την ηλικία των 25 ετών. Για αυτό το λόγο η ποσοτικοποίηση του οστικού οιδήματος και η διαφοροποίηση θεωρήθηκε σημαντική και ακολούθησαν αρκετές μελέτες.

Οι Felson et al [14] ήθελαν να προσδιορίσουν εάν το οίδημα στο υποαγγειακό οστό σε ασθενείς με οστεοαρθρίτιδα γόνατος αναγνωρίζουν τα γόνατα με υψηλό κίνδυνο για ακτινολογική εξέλιξη και αν αυτές οι βλάβες σχετίζονται με κακή ευθυγράμμιση των άκρων. Από τους 256 ασθενείς, 223 (87,1%) συμμετείχαν σε τουλάχιστον μία εξέταση παρακολούθησης. Είκοσι επτά από τα 75 γόνατα με μεσαίες βλάβες (36,0%) έδειξαν εξέλιξη του μέσου όρου έναντι 12 από 148 γόνατα χωρίς αλλοιώσεις (8,1%) (λόγος πιθανότητας εξέλιξης, 6,5 [95% CI, 3,0 έως 14,0]). Περίπου το 69% των γόνατων που προχώρησαν μεσολαβητικά είχαν μεσαίες βλάβες και οι πλευρικές αλλοιώσεις πρόσφεραν αξιοσημείωτο κίνδυνο για πλευρική εξέλιξη. Αυτοί οι αυξημένοι κίνδυνοι μειώθηκαν κατά 37% έως 53% μετά την προσαρμογή για την ευθυγράμμιση των άκρων. Έτσι κατέληξαν στο γεγονός ότι το οίδημα του μυελού των οστών είναι ένας ισχυρός παράγοντας κινδύνου για τη δομική επιδείνωση της οστεοαρθρίτιδας του γόνατος και η σχέση του με την εξέλιξη εξηγείται εν μέρει από τη σύνδεσή του με την ευθυγράμμιση των άκρων. Ο Roemer et al [15] προσπάθησαν να εκτιμήσουν τον όγκο του οιδήματος μετρώντας με το χέρι τις μέγιστες διαμέτρους του οιδήματος του μυελού των οστών και στις τρεις διαστάσεις χρησιμοποιώντας εικόνες STIR σε στεφανιαίες και οβελιαίες τομές. Στη συνέχεια, υπολόγισαν τον όγκο του οιδήματος του μυελού των οστών πολλαπλασιάζοντας τις τρεις διαμέτρους. Ωστόσο, λόγω της ασαφούς εμφάνισης των περιθωρίων του οιδήματος του μυελού των οστών, η μέτρηση των διαμέτρων φαινόταν εξαιρετικά υποκειμενική. Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα από τη μελέτη αυτή ήταν απίθανο να είναι επαναληψίμα. Επιπλέον, ο υπολογιζόμενος όγκος ήταν κυμαινόμενος, γεγονός που αύξανε την ανακρίβεια των αποτελεσμάτων. Μια βελτιωμένη μέθοδος παρουσιάστηκε από τους Schmid et al [16], ο οποίος μέτρησε οιδηματώδους ανωμαλίες σήματος στο πόδι και στον αστράγαλο με STIR και ενισχυμένες με σκιαγραφικό T1 Spin Echo ακολουθίες. Και πάλι, ο όγκος αυτών των ανωμαλιών αξιολογήθηκε με το χέρι, βασιζόμενος έτσι σε ανακριβή περιγράμματα του μη φυσιολογικού ιστού και στη συνέχεια πολλαπλασιάστηκε με το πάχος των φετών. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια μέτρησης της έντασης σήματος του οιδήματος του μυελού των οστών, συγκρίνοντας την μέση τιμή γκριζας

κλίμακας ενός υποκειμενικά προσδιορισμένου ROI μέσα στον οίδηματώδη ιστό με τη μέση τιμή γκρι κλίμακας ενός ROI στο γειτονικό υγιές ιστό. Ωστόσο, η κατανομή των τιμών της γκρίζας κλίμακας του (ROI) είναι αντιπροσωπευτική μόνο του συγκεκριμένου (ROI) αλλά όχι κατ' ανάγκη του συνόλου του οιδήματος του μυελού των οστών. Έτσι, η μέση τιμή σε γκρι των διαφορετικών ROI μέσα στο οίδημα του μυελού των οστών μπορεί να διαφέρει σημαντικά.

Ο Mayerhoefer et al [17] δημιούργησαν μια μέθοδο που είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητη από την εμπειρία του παρατηρητή λόγω της έλλειψης του «χρυσού» προτύπου για την ποσοτικοποίηση του οιδήματος του μυελού των οστών. Η χειρωνακτική παρεμβολή είναι απαραίτητη μόνο για την περιγραφή των περιγραμμάτων του εξεταζόμενου μυελού των οστών και τη σχεδίαση μίας περιοχής ενδιαφέροντος χωρίς συγκεκριμένο σχήμα μέσα στον υγιή ιστό. Χρησιμοποιώντας μια τιμή 99% της κλίμακας του γκρι ως κατώτατο όριο ανάμεσα στον υγιή και τον οίδηματώδη ιστό, ελαχιστοποιήσαν την επίδραση των μικρών συστάδων pixels με υψηλή ένταση σήματος που διαφορετικά θα έβλαπτε το αποτέλεσμα.

Σε μία άλλη μελέτη πάλι οι Mayerhoefer et al [17] διερεύνησαν την αναπαραγωγιμότητα και τη δυνατότητα μεταφοράς των χαρακτηριστικών υφής και έγινε σύγκριση δύο μεθόδων επιλογής χαρακτηριστικών και δύο ταξινομητών. Συγκεκριμένα, εικόνες T1 στεφανιαίες εικόνες μαγνητικής τομογραφίας(MR)των γονάτων 63 ασθενών, χωρισμένες σε τρεις ομάδες, συμπεριλήφθηκαν στη μελέτη. Οι περιοχές ενδιαφέροντος (ROI) σχεδιάστηκαν στον μυελό των οστών και στον ιστό του λίπους. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάλυση υφής (Texture Analysis) των ROI και εντοπίστηκαν τα πιο διακριτά χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας τους συντελεστές Fisher και POE (ACC) (πιθανότητα σφάλματος κατάταξης και μέσοι συντελεστές συσχέτισης). Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, χρησιμοποιήθηκαν κατάταξη των τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ANN) και k-πλησιέστερων γειτόνων (k-NN). Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν χρησιμοποιώντας τον ταξινομητή ANN σε συνδυασμό με χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν από την POE-ACC.

Ο Xiaojuan Li et al [18], πραγματοποίησαν την ποσοτική αξιολόγηση του οιδήματος μυελού των οστών και του υπερκείμενου χόνδρου στην οστεοαρθρίτιδα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο παλινδρόμησης για τον αυτόματο υπολογισμό του όγκου του οιδήματος μυελού των οστών. Καταλήγοντας πως η 3D MRSI και το T1ρ mapping παρέχουν εργαλεία για την ποσοτική εκτίμηση του οιδήματος μυελού των οστών στην οστεοαρθρίτιδα και στον τραυματισμό του γονάτος.

Όλες οι μελέτες στοχεύουν στην καλύτερη κατανόηση της παθοφυσιολογίας και της εξέλιξης των τραυματισμών και των εκφυλιστικών καταστάσεων του γονάτος.

2. ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Ο μαγνητικός τομογράφος που χρησιμοποιήθηκε για την επίτευξη των εξετάσεων είναι το SIGNA HDX Twin Speed 1,5 T με τετρακάναλο πηνίο του γόνατος. Οι εξετάσεις διεξήχθησαν στη κλινική ANIMUS ΚΥΑΝΟΥΣ ΣΤΑΥΡΟΣ στη Λάρισα. Οι ακολουθίες που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία αυτή είναι **Short Tau Inversion Recovery (STIR)** ακολουθία και η **PROTON DENSITY (PD) FAST SPIN ECHO FSE** ακολουθία με καταστολή λίπους (**fat saturation**) σε οβελιαίες τομές. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την κάθε ακολουθία βρίσκονται στους πίνακες 1 για την STIR και 2 για την PD FS. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκαν αυτές οι δύο ακολουθίες και όχι άλλες που περιλαμβάνονται στο πρωτόκολλο εξέτασης ενός γόνατος είναι η καταστολή του λίπους.

Συγκεκριμένα, η εκλεκτική καταστολή του σήματος του λίπους χρησιμοποιείται ευρύτατα στο μυοσκελετικό σύστημα επειδή προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα. Βοηθάει στην ανάδειξη κακώσεων του οστικού μυελού στην αναγνώριση όγκων που περιέχουν λίπος και στον χαρακτηρισμό της παθολογίας έπειτα από την χρήση παραμαγνητικού μέσου σκιαγραφικής αντίθεσης. Παράλληλα, βελτιώνει σημαντικά τον λόγο σήματος προς θόρυβο (Contrast to noise ratio- CNR) μεταξύ του υπό εξέταση ιστού και του περιβάλλοντος λιπώδους οστικού μυελού και μειώνει τα τεχνικά σφάλματα χημικής μετατόπισης.

Η καταστολή του σήματος του λίπους είναι δυνατόν να επιτευχθεί με πολλές τεχνικές.

Οι περισσότερες από αυτές τις τεχνικές βασίζονται στο φαινόμενο της χημικής μετατόπισης (τεχνική χημικού προκορεσμού, τεχνική εκλεκτικής διέγερσης, τεχνική Dixon).

Αντίθετα, η ακολουθία STIR αξιοποιεί την διαφορά στους χρόνους χαλάρωσης T1 μεταξύ του λίπους και του ύδατος. Η καταστολή του σήματος του λίπους ελαχιστοποιεί το ισχυρό σήμα του λίπους στον οστικό μυελό και αναδεικνύει το εκτεταμένο οίδημα του μυελού στους μηριαίους κονδύλους.

Επιλέχθηκαν εικόνες από ασθενείς που υποβάλλονταν σε εξέταση μαγνητικής τομογραφίας λόγω γοναλγίας και με βάση το ιστορικό που διαγνώστηκαν με αρθρίτιδα, με οστικό οίδημα και με φυσιολογική ερυθροποίηση μυελού. Η επιλογή των περιοχών ενδιαφέροντος (region of interest-ROI) έγινε χειροκίνητα περιγράφοντας την περιοχή που θεωρούνταν κάθε φορά παθολογία. Σε σύνολο λοιπόν, 92 ασθενών που προσήλθαν στην κλινική χωρίστηκαν με βάση το ιστορικό και την διάγνωση τους όπως προαναφέρθηκε σε τρεις κατηγορίες. Ασθενείς με οστικό οίδημα από κάκωση το οποίο στην εργασία αυτή το ονομάζουμε **injury (INJ)**, ασθενείς με οστεοαρθρίτιδα που στην εργασία χρησιμοποιούμε την ονομασία **osteoarthritis (OST)** και ασθενείς με ερυθροποίηση μυελού που το ονομάζουμε **bone marrow edema (BME)**. Οι ασθενείς έχουν μέσο όρο ηλικίας 42 ετών.

Πίνακας 1: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την Short Tau Inversion Recovery (STIR).

| | |
|--|----------|
| Χρόνος Επανάληψης (Time of Repetition-TR) | 5675 ms |
| Χρόνος ηχούς (Time of Echo-TE) | 50 ms |
| Παράγοντας επιτάχυνσης (Echo Training Length-ETL) | 16 |
| Εύρος Ζώνης (Bandwidth-BW) | 20.83 Hz |
| Διάσταση k-χώρου | 256x192 |
| Κατεύθυνση Συχνότητας (Frequency Direction-Freq DIR) | A/P |
| Πάχος Τομής (Slice Thickness) | 4.0 mm |

| | |
|---------------------------------------|--------|
| Κενό τομών Spacing | 0.8 mm |
| Πεδίο απεικόνισης (Field of view-FOV) | 18 cm |
| Πλήθος Τομών (SLICES) | 18 |
| Χρόνος Εξέτασης (TIME) | 144 s |

Πίνακας 2: Παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την proton density (PD) FAST SPIN ECHO FSE με FAT SAT.

| | |
|--|----------|
| Χρόνος Επανάληψης (Time of Repetition-TR) | 2200 ms |
| Χρόνος ηχούς (Time of Echo-TE) | 30 ms |
| Παράγοντας επιτάχυνσης (Echo Training Length-ETL) | 8 |
| Εύρος Ζώνης (Bandwidth-BW) | 31.25 Hz |
| Διάσταση k-χώρου | 384x224 |
| Κατεύθυνση Συχνότητας (Frequency Direction-Freq DIR) | A/P |
| Πάχος Τομής (Slice Thickness) | 4.0 mm |
| Κενό τομών (Spacing) | 0.8 mm |
| Πεδίο απεικόνισης (Field of view-FOV) | 18 cm |
| Πλήθος Τομών (SLICES) | 19 |
| Χρόνος Εξέτασης (TIME) | 137 s |

2.1 Περιγραφή Χαρακτηριστικών

Τα χαρακτηριστικά περιεγράφηκαν χειροκίνητα με βάση την ποιοτική εκτίμηση των παθολογιών. Οι συγκεκριμένες ακολουθίες έχουν ενισχυμένο σήμα στις περιπτώσεις οιδήματος του μυελού, αρθρίτιδας και μυελού των οστών. Αξιολογώντας λοιπόν, την περιοχή με το ενισχυμένο σήμα και σε συνδυασμό με το ιστορικό του ασθενούς περιγράφηκαν οι περιοχές ενδιαφέροντος που χρησιμοποιήθηκαν για την στατιστική ανάλυση. Σε κάθε ασθενή πάρθηκαν 2 ROIs ένα για κάθε ακολουθία. Στην κατηγορία **injury (INJ)** ανήκουν 31 ασθενείς 19 άντρες 12 γυναίκες. Στην κατηγορία **osteoarthritis (OST)** ανήκουν 38 ασθενείς 15 άντρες και 23 γυναίκες. Στην κατηγορία **bone marrow edema (BME)** ανήκουν 29 ασθενείς 9 άντρες και 20 γυναίκες. Οι τρεις κατηγορίες χωρίστηκαν σε 2 τα φυσιολογικά και τα παθολογικά για τις ακολουθίες SAG PD FS και T2 STIR. Η κατηγορία των φυσιολογικών περιλαμβάνει την κατηγορία BME και η κατηγορία των παθολογικών περιλαμβάνει τα INJ και τα OST.

Η στατιστική ανάλυση έγινε σε πρόγραμμα MATLAB. Αρχικά βγάλαμε τα χαρακτηριστικά 1^{ης} τάξης Μέση τιμή (Mean), Διακύμανση (Standard Deviation), Ασυμμετρία (Skewness), Κύρτωση (Kurtosis). Καθώς και τα Ενέργεια (Energy), Ομοιογένεια (Homogeneity), Αντίθεση (Contrast), Συσχέτιση (Correlation), την μέση τιμή και το εύρος του κάθε χαρακτηριστικού.

Τα χαρακτηριστικά των εικόνων χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν και να διαχωρίσουν αντικείμενα εικόνας. Σε αναζήτηση για τα κατάλληλα χαρακτηριστικά για την περιγραφή της ιατρικής εικόνας πρέπει να βρεθούν και να αναλυθούν τα στοιχεία και τα χαρακτηριστικά της

εικόνας που θα χρησιμοποιούνται από τους ιατρούς ή ραδιολόγους που κάνουν την ανάλυση. Μια ψηφιακή ιατρική εικόνα είναι ένα σύνολο από διακριτά εικονοστοιχεία (pixel). Στα pixel ανατίθενται διάφοροι τόνοι του γκρι και τοποθετούνται στις κατάλληλες θέσεις στο χώρο ώστε να δημιουργήσουν ανατομικές περιοχές. Οι περιοχές αυτές σχηματίζουν την ψηφιακή ιατρική εικόνα. Στην διάγνωση της εικόνας από τους ιατρούς γίνεται η ποιοτική ανάλυση και περιγραφή της υφής αυτών των περιοχών για να καταλήξουν σε μια αξιολόγηση της. Στην σχεδίαση ενός συστήματος ανάλυσης εικόνας γίνεται ποσοτική αντί για ποιοτική αξιολόγηση και ανάλυση της υφής, μέσω επεξεργασίας με υπολογιστή και έτσι χαρακτηρίζεται και αξιολογείται. Υπάρχουν επίσης ιατρικές εικόνες που σαν κριτήριο αξιολόγησης τους είναι και το σχήμα των ανατομικών περιοχών, εκτός από την υφή τους.

Κατηγορίες χαρακτηριστικών:

- Χαρακτηριστικά χώρου (spatial features)

I. Ροπές ιστογράμματος

II. Χαρακτηριστικά υφής (textural features)

- Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά (geometrical features)
- Χαρακτηριστικά από μετασχηματισμό (transform features)

Η υφή μιας εικόνας εκφράζεται από τη χωρική κατανομή των χρωμάτων ή των τόνων του γκρι στην εικόνα και περιγράφει χαρακτηριστικά όπως η ομαλότητα, η τραχύτητα και η ύπαρξη κανονικοτήτων.

2.1.1 Χαρακτηριστικά υφής

Η υφή της εικόνας μπορεί να περιγραφεί ποιοτικά (ομαλή, τραχιά, κ.α.) για την διάγνωση και κατηγοριοποίηση της, ή μπορεί να ποσοτικοποιηθεί για χρήση σε συστήματα αναγνώρισης προτύπων και ανάλυσης εικόνας. Η ποσοτικοποίηση της υφής μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας από στατιστικής 1^{ης} τάξης χαρακτηριστικά υφής από τον πίνακα-pixel: ιστόγραμμα, ακόμα από στατιστικής 2^{ης} τάξης χαρακτηριστικά υφής από τον πίνακα συνεμφάνισης (co-occurrence matrix) και χαρακτηριστικά από τον πίνακα μήκους διαδρομής (run-length) τόνων-γκρι[19].

Από στατιστικής 1^{ης} τάξης χαρακτηριστικά υφής

Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά από το ιστόγραμμα των ανατομικών περιοχών ενδιαφέροντος [20].

1. Μέση Τιμή (Mean Value) : $\mu = \frac{\sum_i \sum_j g(i,j)}{N}$
2. Διακύμανση (Variance) : $\sigma^2 = \frac{\sum_i \sum_j (g(i,j) - \mu)^2}{N}$
3. Ασυμμετρία (Skewness) : $s = \frac{1}{N} \frac{\sum_i \sum_j (g(i,j) - \mu)^3}{\sigma^3}$
4. Κύρτωση (Kurtosis) : $k = \frac{1}{N} \frac{\sum_i \sum_j (g(i,j) - \mu)^4}{\sigma^4}$

όπου $g(i, j)$ είναι ο τόνος του γκρι του pixel (i, j) και N είναι ο συνολικός αριθμός pixel της περιοχής ενδιαφέροντος

Τα στατιστικά 1^{ης} τάξεως περιγράφουν την συνολική κατανομή της χρωματικής πυκνότητας μιας εικόνας και υπολογίζονται από το κανονικοποιημένο gray-level ιστόγραμμα της επιλεγμένης περιοχής της εικόνας.

Η μέση τιμή μιας εικόνας είναι η μέση τιμή εντάσεων των εικονοστοιχείων της. Μπορεί να υπολογιστεί είτε σε ολόκληρη την εικόνα είτε σε μέρος της. Η τυπική απόκλιση της εικόνας μιας εικόνας είναι ένα μέτρο μεταβλητότητας των εντάσεων των εικονοστοιχείων της. Η στρέβλωση μιας εικόνας είναι ένα μέτρο της ασυμμετρίας των τιμών των εικονοστοιχείων σε σχέση με τη μέση τιμή. Η κύρτωση είναι ένα μέτρο του κατά πόσο η κατανομή των εντάσεων στην εικόνα έχει κορύφωση ή είναι επίπεδη σε σχέση με μια φυσιολογική κατανομή. Μια διαφορετική προσέγγιση για την ανάλυση υψής αποτελούν οι μέθοδοι 2^{ης} τάξης τα οποία στηρίζονται στα μητρώα συνεμφάνισης των επιπέδων του γκρι. Σε αντίθεση με τις μεθόδους 1ης τάξης, οι μέθοδοι 2ης τάξης δηλώνουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων.

2.1.2 Χαρακτηριστικά υψής 2^{ης} τάξης

Όπως προαναφέρθηκε τα 2^{ης} τάξης χαρακτηριστικά υψής μπορούν να δημιουργηθούν από τον πίνακα συνεμφάνισης (co-occurrence matrix) και από τον πίνακα μήκους διαδρομής (run-length) τόνων-γκρι

Ένα μήκος διαδρομής (run-length), τόνων του γκρι είναι ένα σύνολο από σημεία της εικόνας με την ίδια τιμή τόνου του γκρι. Το μήκος του συνόλου είναι ο αριθμός των σημείων της εικόνας που χρησιμοποιείται. Όπως και στον πίνακα συνεμφάνισης έχουμε 4 κατευθύνσεις μήκους διαδρομής 0°, 45°, 90°, 135°. Από τον πίνακα μήκους διαδρομής υπολογίζονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά [20,21].

1. Short Run Emphasis:

$$SRE = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} \frac{Q_{R-L}(i,j)}{j^2}}{\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_r} Q_{R-L}(i,j)}$$

2. Long Run Emphasis:

$$LRE = \frac{\sum_i^{N_g} \sum_j^{N_r} Q_{R-L}(i,j) j^2}{\sum_i^{N_g} \sum_j^{N_r} Q_{R-L}(i,j)}$$

3. Gray-Level Non-Uniformity:

$$GLNU = \frac{\sum_i^{N_g} (\sum_j^{N_r} Q_{R-L}(i,j))^2}{\sum_i^{N_g} \sum_j^{N_r} Q_{R-L}(i,j)}$$

4. Run Length Non-Uniformity:

$$RLNU = \frac{\sum_i^{N_g} (\sum_j^{N_r} Q_{R-L}(i,j))^2}{\sum_i^{N_g} \sum_j^{N_r} Q_{R-L}(i,j)}$$

5. Run Percentage

$$RP = \frac{\sum_i^{Ng} \sum_j^{Nr} Q_{R-L}(i,j)}{P}$$

όπου P είναι ο συνολικός αριθμός μήκους διαδρομής (run length) αν είναι μήκος 1.

Άλλη μια μέθοδος η οποία μπορεί να περιγράψει της ιδιότητες υφής είναι ο πίνακας συνεμφάνισης (**Gray level Co-occurrence matrix-GLCM**). Η περιγραφή της υφής μόνο με ροπές του ιστογράμματος με την προαναφερθείσα μέθοδο (μήκος διαδρομής (run-length)), δεν εκμεταλλεύεται την βασική πληροφορία που χαρακτηρίζει την υφή, δηλαδή πως οι τιμές των εικονοστοιχείων διαχέονται η μια την άλλη σε μια περιοχή. Η μέθοδος πίνακα συνεμφάνισης υπολογίζει αυτή την πληροφορία.

Υπάρχουν 14 βασικά χαρακτηριστικά που υπολογίζονται από τον πίνακα συνεμφάνισης [19-23]. Ο πίνακας συνεμφάνισης περιγράφει τον αριθμό που εμφανίζονται (συχνότητα) δύο γειτονικοί τόνοι του γκρι του πίνακα της εικόνας και μπορεί να υπολογιστεί στις 4 βασικές κατεύθυνσης 0° , 45° , 90° , 135° . Οπότε για κάθε περιοχή υπολογίζονται 4 πίνακες συνεμφάνισης, για καλύτερη απόδοση του συστήματος οι πίνακες προθέτονται σε ένα. Αυτός χάνει τις κατευθύνσεις οι οποίες όμως δεν παίζουν ρόλο στην υφή της εικόνας. Τα χαρακτηριστικά που δίνονται παρακάτω σχετίζονται με διάφορα ποιοτικά χαρακτηριστικά υφής των εικόνων που έχουν φυσική σημασία. Δεν είναι όμως εύκολο να γίνει πάντα αυτός ο συσχετισμός με τα χαρακτηριστικά από πίνακα συνεμφάνισης οπότε επιλέγονται συνήθως τα πιο κατάλληλα για την εκάστοτε εφαρμογή.

ASM μέτρο της ομοιογένειας της εικόνας

$$ASM = \sum_{i,j} \frac{p(i,j)}{1 + |i - j|}$$

Αντίθεση (Contrast), μέτρο της ποσότητας τοπικών παραλλαγών

$$CON = \left(\sum_{i,j} |i - j|^2 \right) p(i,j)$$

Συσχέτιση (Correlation), μέτρο των γραμμικών εξαρτήσεων στην εικόνα

$$COR = \sum \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)p(i,j)}{\sigma_i \sigma_j}$$

Ενέργεια (Energy) το άθροισμα των τετραγώνων του πίνακα

$$Energy = \sum_{i,j} p(i,j)^2$$

Εμείς χρησιμοποιήσαμε την αντίθεση και την συσχέτιση την τυπική τους απόκλιση και την μέση τιμή τους αντίστοιχα από το πίνακα GLCM.

2.1.3 Κανονικοποίηση

Σε μια πρώτη περιγραφή, η κανονικοποίηση εφαρμόζεται πάνω σε ένα σχεσιακό σχήμα και προσπαθεί να το μετασχηματίσει σε μια νέα μορφή, η οποία είναι απαλλαγμένη από τις διάφορες ανωμαλίες της εισαγωγής. Στην ανάλυση και επεξεργασία εικόνας γίνεται κανονικοποίηση στις τιμές των χαρακτηριστικών των εικόνων για να αποφευχθούν μεγάλες διαφορές μεταξύ των τιμών των διαφορετικών διανυσμάτων των χαρακτηριστικών σε σχέση

με τα υπόλοιπα του κάθε προτύπου [24]. Οι οποίες μπορεί να έχουν μεγαλύτερη επιρροή στο σύστημα από ότι θα έπρεπε η εξίσωση που περιγράφει την κανονικοποίηση που εφαρμόζεται για N δεδομένα του k χαρακτηριστικού έχουμε:

$$\bar{X}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ik} \quad (k = 1, 2, 3 \dots)$$

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_k)^2$$

$$y = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{\sigma_k}$$

Ουσιαστικά πρόκειται για μια συνάρτηση συμπίεσης των δεδομένων μεταξύ τιμών που αντιπροσωπεύουν τις αρχικές τιμές οι οποίες μετά την κανονικοποίηση θα έχουν μέση μηδενική τιμή και τυπική απόκλιση μονάδα.

Στη συνέχεια τρέξαμε κάθε κατηγορία ανά ζεύγη για να βρούμε τα p-value 2 ζεύγη Wilcoxon rank sum test και τις συγκρίναμε μεταξύ τους στις 2 ακολουθίες με p value 0.05 αρχικά και στη συνέχεια με πιο αυστηρό κριτήριο έτσι ώστε να παρατηρήσουμε αν θα μειωθούν τα χαρακτηριστικά με p value 0.01.

Συγκεκριμένα τρέξαμε (BME) vs (INJ) για SAG PD και T2 STIR, (BME) vs (OST) για SAG PD και T2, (OST) vs (INJ) για SAG PD και T2 STIR.

Στη συνέχεια αφού βάλαμε τις δύο κατηγορίες (INJ και OST) σε μία συγκρίναμε τα παθολογικά versus τα φυσιολογικά (BME) πρώτα για την ακολουθία SAG PD FS και στη συνέχεια για την ακολουθία T2 STIR.

2.1.4 Wilcoxon Rank-Sum Test

Έλεγχος του αν δύο ανεξάρτητα δείγματα διαφέρουν ή όχι (αν προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό). Είναι μη παραμετρική δοκιμασία, αντίστοιχη του t-test δύο ανεξάρτητων δειγμάτων.

1. Διατάσσονται κατά αύξουσα σειρά οι τιμές της μεταβλητής και των δύο δειγμάτων μαζί.
2. Υπολογίζεται το άθροισμα των θέσεων διάταξης των παρατηρήσεων που ανήκουν σε κάθε δείγμα (R_1 και R_2). Αν δύο ή περισσότερες παρατηρήσεις έχουν ίδια τιμή, ως «διορθωμένη θέση διάταξης» επιλέγεται η μέση τιμή.
3. Υπολογίζονται οι τιμές του στατιστικού δείκτη

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2}$$

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2}$$

Η μικρότερη τιμή (U) των U_1 και U_2 , με τη βοήθεια πινάκων καθορίζει τη στατιστική σημαντικότητα της διαφοράς των δύο δειγμάτων.

Εξήγηση: Όταν είναι καλά διαχωρισμένες οι τιμές των 2 ομάδων, τότε πολλές τιμές από τη μια ομάδα θα βρίσκονται σε μικρές θέσεις διάταξης, άρα το U θα είναι μικρό [25,26].

2.2 Επιλογή Χαρακτηριστικών

Αφού δημιουργηθούν τα χαρακτηριστικά των εικόνων με τους τρόπους και τους αλγόριθμους που περιεγράφηκαν, πρέπει να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός χαρακτηριστικών που θα χρησιμοποιηθεί στην διαδικασία της ταξινόμησης. Αυτό εξαρτάται από την κάθε εφαρμογή και κατά πόσο το κάθε χαρακτηριστικό βοηθάει στο να γίνει καλύτερα η διάκριση. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία για την εύρεση του καλύτερου συνδυασμού χαρακτηριστικών ήταν η rank-features τεχνική [27]. Η τεχνική αυτή εφαρμόζει ένα κριτήριο για την αποτίμηση της σημαντικότητας του κάθε χαρακτηριστικού για το διαχωρισμό των 2 κλάσεων ενώ παράλληλα ελέγχει το βαθμό συσχέτισης μεταξύ των χαρακτηριστικών σύμφωνα με την παράμετρο ALPHA. Η παράμετρος ALPHA λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όταν η τιμή της είναι κοντά στο 1, τότε υπερσκελίζεται το τεστ σημαντικότητας και τα χαρακτηριστικά που έχουν ισχυρή συσχέτιση με εκείνα που έχουν ήδη επιλεγεί, είναι λιγότερο πιθανό να συμπεριληφθούν στην τελική λίστα. Στην παρούσα μελέτη, υιοθετήσαμε το Wilcoxon test σαν τεστ σημαντικότητας και θέσαμε την τιμή 0.5 στην παράμετρο ALPHA. Το τελικό σύνολο χαρακτηριστικών που δίνει ως έξοδο η τεχνική rank-features απαρτίζεται από τα 10 πιο ισχυρά χαρακτηριστικά. Ακολουθώντας, πήραμε τα 4 πιο ισχυρά χαρακτηριστικά, τα 5, τα 6 μέχρι και τα 10 πιο ισχυρά χαρακτηριστικά για την ταξινόμηση.

Το τελικό σύνολο χαρακτηριστικών που δίνει ως έξοδο η rank-features τεχνική απαρτίζεται από τα 10 πιο ισχυρά χαρακτηριστικά αποτιμώντας συνάμα την επίδοσή τους. Το βέλτιστο υποσύνολο χαρακτηριστικών ήταν εκείνο για το οποίο ο εκάστοτε ταξινομητής είχε την καλύτερη επίδοση, δηλαδή το μέγιστο ποσοστό επιτυχούς ταξινόμησης.

2.2.1 Ταξινόμηση

Η διαδικασία της ταξινόμησης κατά την οποία γίνεται μετατροπή της ποσοτικής εισόδου (π.χ. των χαρακτηριστικών) σε ποιοτική έξοδο (π.χ. διάγνωση, πρόγνωση κ.τ.λ.) συνιστά το πιο σημαντικό κομμάτι ενός συστήματος αναγνώρισης προτύπων. Η έξοδος ενός ταξινομητή μπορεί να είναι μία τιμή που να υποδεικνύει μία από τις προκαθορισμένες κλάσεις ή ένα διάνυσμα πραγματικών τιμών που να αντιπροσωπεύει την πιθανότητα το εκάστοτε πρότυπο να προέρχεται από μία συγκεκριμένη κλάση. Προκειμένου να επιτύχουμε τη μέγιστη επίδοση ενός ταξινομητή, κρίνεται απαραίτητος ο βέλτιστος σχεδιασμός του εκάστοτε προηγούμενου σταδίου (εξαγωγή και επιλογή χαρακτηριστικών).

Κατά το στάδιο της εκπαίδευσης, εισάγονται στον ταξινομητή διανύσματα χαρακτηριστικών με γνωστές ετικέτες (labels) οι οποίες υποδεικνύουν την κλάση προέλευσής τους, ούτως ώστε ο ταξινομητής να μάθει τις διαφορές ανάμεσα στις προκαθορισμένες κλάσεις. Με βάση λοιπόν τις εισόδους, οι οποίες αποτελούν το «σύνολο εκπαίδευσης», ο ταξινομητής δημιουργεί μία μοναδική περιγραφή για κάθε προκαθορισμένη κλάση. Όταν το στάδιο της εκπαίδευσης ολοκληρωθεί, τότε ο ταξινομητής είναι έτοιμος να προσδώσει μία ετικέτα ταξινόμησης σε νέα διανύσματα-εισόδους τα οποία δεν είχαν συμπεριληφθεί στο στάδιο της εκπαίδευσης.

Παρότι μπορεί να φαίνεται λογικό ότι ένα μεγαλύτερο πλήθος χαρακτηριστικών φέρει περισσότερη πληροφορία συγκριτικά με ένα μικρότερο, εντούτοις αυτό δεν ισχύει στις περιπτώσεις του πραγματικού κόσμου εξαιτίας των ακόλουθων τριών παραγόντων. Κατά πρώτον, επειδή η πολυπλοκότητα και το υπολογιστικό κόστος του ταξινομητή αυξάνονται σημαντικά. Κατά δεύτερον, διότι το σφάλμα της γενικευτικής ικανότητας του ταξινομητή αυξάνεται και τέλος γιατί στην περίπτωση κατά την οποία είναι διαθέσιμος ένας περιορισμένος αριθμός δεδομένων παράλληλα με ένα μεγάλο πλήθος χαρακτηριστικών, τότε αυξάνεται η πιθανότητα τα χαρακτηριστικά με μικρή ή καθόλου διαχωριστική ικανότητα

να προκαλέσουν θόρυβο, μειώνοντας την ικανότητα γενίκευσης του ταξινομητή στα νέα δεδομένα. Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε την αναγκαιότητα επιλογής των χαρακτηριστικών εκείνων που φέρουν την πιο σημαντική πληροφορία καθώς και τον βέλτιστο σχεδιασμό του ταξινομητή προκειμένου να κάνει αξιόπιστη ταξινόμηση των νέων δεδομένων.

2.3 Μηχανές Διανυσμάτων Στήριξης (Support Vector Machines / SVM)

Οι ταξινομητές της κατηγορίας SVM βασίζονται στην δημιουργία μεγίστου περιθωρίου ανάμεσα στα δείγματα των δύο διαφορετικών κλάσεων χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους πυρήνων [28 - 30].

Ένας γραμμικός ταξινομητής SVM δημιουργεί ένα υπερεπίπεδο στον χώρο της αναπαράστασης των χαρακτηριστικών που διαχωρίζει τα δείγματα που ανήκουν στην κλάση 1 από τα δείγματα που ανήκουν στην κλάση 2. Κύριος στόχος του είναι η μεγιστοποίηση του περιθωρίου που διαχωρίζει τα δείγματα των 2 κλάσεων. Τα δείγματα που βρίσκονται πάνω στο υπερεπίπεδο που δημιουργήθηκε από τον ταξινομητή λέγονται διανύσματα υποστήριξης. Όσα περισσότερα χαρακτηριστικά που ανήκουν σε μια συγκεκριμένη κλάση έχει ένα συγκεκριμένο δείγμα τόσο περισσότερο μακριά από το περιθώριο είναι το δείγμα αυτό.

Συγκεκριμένα, ο γραμμικός ταξινομητής Support Vector Machines προσπαθεί να βρει μεταξύ όλων των υπερεπιπέδων που ελαχιστοποιούν το σφάλμα εκπαίδευσης, αυτό που διαχωρίζει τα δεδομένα εκπαίδευσης με τη μέγιστη απόσταση από τα πλησιέστερα σημεία του. Αυτό το υπερεπίπεδο δίνεται από την σχέση [31]:

$$y_i[w^T x_i + b] \geq 1, i = 1, 2, \dots, n$$

όπου x_i είναι τα δεδομένα εκπαίδευσης που ανήκουν στην κάθε κατηγορία $y_i = \{-1, +1\}$, w είναι οι παράμετροι βάρους και το b μία παράμετρος πόλωσης.

Το μέγιστο περιθώριο υπερεπιπέδου είναι αυτό που ικανοποιεί τους περιορισμούς, που τίθενται από την παραπάνω εξίσωση ενώ την ίδια στιγμή ελαχιστοποιεί το $\|w\|^2$. Το τελευταίο είναι ένα πρόβλημα τετραγωνικής βελτιστοποίησης με περιορισμούς ανισότητας που μπορεί να λυθεί με τη χρήση της μεθόδου Lagrangian μεγιστοποιώντας τη σχέση [24], [32 - [37]:

$$L_d(a) = \sum_{i=1}^n a_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=0}^n y_i y_j a_i a_j x_i^T x_j$$

$$a \geq 0$$

$$\sum_{f=1}^n a_f y_f = 0$$

Το πρόβλημα μπορεί να εκφραστεί με τον εξής τρόπο:

Μεγιστοποιούμε τη σχέση:

$$L_d(a) = -0.5a^T H a + f^T$$

υπό τους περιορισμούς:

$$y^T a = 0$$

και

$$a \geq 0$$

όπου $(a)_i = a_i$, Η είναι ο πίνακας Hessian, που υπολογίζεται ως:

$$H_{ij} = y_i y_j (x_i^T x_j)$$

f είναι μία διανυσματική μονάδα της μορφής:

$$f = [1 \ 1 \ \dots \ 1]^T$$

Μετά τον υπολογισμό των πολλαπλασιαστών Lagrange το μέγιστο περιθώριο υπερεπιπέδου μπορεί να κατασκευαστεί με τον υπολογισμό του συνόλου των παραμέτρων w_0 και b_0 ως εξής [24],[36]:

$$w_0 = \sum_{i=1}^n a_{0iy_i} x_i \quad i = 1, \dots, n$$

$$b_0 = \frac{1}{N_{sv}} \sum_{s=1}^{N_{sv}} \left(\frac{1}{y_s} - x_s^T w_0 \right), \quad s = 1, \dots, N_{sv}$$

όπου N_{sv} είναι ο αριθμός των διανυσμάτων υποστήριξης, δηλαδή το κλάσμα των δεδομένων εκπαίδευσης που χρειάζονται για την κατασκευή του μέγιστου περιθωρίου του υπερεπιπέδου. Οι πολλαπλασιαστές Lagrange των φορέων υποστήριξης είναι θετικοί ($a_i > 0$), ενώ οι πολλαπλασιαστές Lagrange των υπολοίπων δεδομένων εκπαίδευσης είναι μηδέν ($a_i = 0$). Τέλος, αφού υπολογιστούν τα a_i , w_0 και b_0 , η διακρίνουσα λειτουργία του γραμμικού ταξινομητή SVM μπορεί να υπολογιστεί ως [24]:

$$d(x) = \sum_{i=1}^N w_{0i} x_i + b_0 = \sum_{i=1}^N a_{iy_i} x^T x_i + b_0$$

Ο μη γραμμικός ταξινομητής SVM είναι σχεδιασμένος για μη γραμμικά διαχωρίσιμα δεδομένα. Η βασική ιδέα περιλαμβάνει δύο διαδοχικά στάδια:

A) Χαρτογράφηση του χώρου χαρακτηριστικών εισόδου σε έναν υψηλότερων διαστάσεων χώρο χαρακτηριστικών, χρησιμοποιώντας μία μη γραμμική συνάρτηση μετασχηματισμού (kernel). Η χαρτογράφηση γίνεται για να βρεθεί ο χώρος χαρακτηριστικών, στον οποίο τα δεδομένα μπορούν να είναι γραμμικά διαχωρίσιμα.

B) Στο χώρο των χαρακτηριστικών, η μηχανή κατασκευάζει το μέγιστο περιθώριο υπερεπιπέδου όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Η διακρίνουσα συνάρτηση του nonlinear SVM ταξινομητή για πρόβλημα ταξινόμησης 2 κλάσεων είναι [24] :

$$d(x) = \sum_{i=1}^N a_i y_i K(x, x_i) + b_0$$

$$0 < a_i < C$$

όπου x_i είναι τα δεδομένα εκπαίδευσης που ανήκουν στην τάξη $y_i \in \{1, -1\}$, N ο αριθμός των δειγμάτων εκπαίδευσης, a_i είναι οι πολλαπλασιαστές Lagrange, b_0 είναι ο συντελεστής βάρους πόλωσης, $K(x, x_i)$ ο πυρήνας λειτουργίας και C μία παράμετρος κόστους, που επηρεάζει την ανοχή των εσφαλμένων ταξινομήσεων. Οι πιο δημοφιλείς λειτουργίες πυρήνα

θεωρούνται η Radial Basis Function (RBF) και οι πολυωνυμικοί πυρήνες. Η παράμετρος σ του RBF πυρήνα προσδιορίζεται πειραματικά.

$$K_{RBF}(x, x_i) = \exp\left(-\frac{\|x - x_i\|^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$K_{poly}(x, x_i) = ((x^T x_i) + 1)^d$$

Στην συγκεκριμένη εργασία εμείς χρησιμοποιήσαμε τον cubic SVM όπου το $d = 3$. Η αξιολόγηση της μεθόδου έγινε με την χρήση του cross validation για $k=5$. Χωρίσαμε λοιπόν το πλήθος των προτύπων εκπαίδευσης σε 5 ομάδες. Στη συνέχεια ο ταξινομητής με όλα τα πρότυπα πλην της 1ης ομάδας, τα οποία στη συνέχεια ταξινομούνται. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις ομάδες.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αφού έχουν επιλεγθεί τα κατάλληλα χαρακτηριστικά υφής από τις εικόνες και έχουν σχεδιαστεί, επιλεγθεί και εκπαιδευτεί οι επιθυμητοί ταξινομητές με τους συνδυασμούς των χαρακτηριστικών που τελικά τσεκάρουμε ποιός είναι ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός χαρακτηριστικών που έχει την μεγαλύτερη ακρίβεια ταξινόμησης με τα λιγότερα δυνατά χαρακτηριστικά. Υπολογίζουμε ύστερα πόσα από αυτά ταξινομήθηκαν σωστά και πόσα όχι. Κατά την ταξινόμηση γνωστών προτύπων (δηλαδή πρότυπα για τα οποία γνωρίζουμε τις κλάσεις στις οποίες ανήκουν) κατασκευάζεται ο πίνακας αληθείας (truth table ή confusion matrix), ο οποίος περιέχει το πλήθος των προτύπων που ταξινομήθηκαν σε κάθε κλάση σε σχέση με την πραγματική κλάση στην οποία ανήκουν. Η ακρίβεια μιας δοκιμασίας στην ανίχνευση μιας κατηγορίας A, ονομάζεται ευαισθησία. Η ακρίβεια της δοκιμασίας στην άλλη κατηγορία (ή συνολικά στις άλλες κατηγορίες), ονομάζεται ειδικότητα της δοκιμασίας για την κατηγορία A.

3.1 Αποτελέσματα Στατιστικής Ανάλυσης

Παρακάτω βλέπουμε τα αποτελέσματα όπως τα τρέξαμε με την τεχνική Wilcoxon Rank-Sum Test με p value 0.05 και με p value 0.01. Με έντονο μαύρο (bold) είναι όσα εμφάνισαν σημαντική στατιστική διαφορά και με p value 0.01.

Πίνακας 3: Στατιστικά σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες Ερυθροποίηση (BME) PD και τραυματισμό από οίδημα (INJ) PD

| Χαρακτηριστικό | Τιμή πιθανότητας (p-value) |
|-------------------------|----------------------------|
| Μέση τιμή | 0.0024 |
| Τυπική απόκλιση | 0.0458 |
| Ασυμμετρία | 0.0109 |
| Μέση τιμή ενέργειας | 0.0187 |
| Μέση τιμή ομοιογένειας | 0.0159 |
| Εύρος Συσχέτισης | 0.0017 |
| Εύρος Ομοιογένειας | 0.0491 |

Πίνακας 4: Στατιστικά σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες Ερυθροποίηση (BME) STIR vs οστικό οίδημα απο κάκωση (INJ) STIR

| Χαρακτηριστικό | Τιμή πιθανότητας (p-value) |
|-------------------------------|----------------------------|
| Τυπική απόκλιση | 0.0129 |
| Μέση τιμή Ενέργειας | 0.0085 |
| Μέση τιμή Ομοιογένειας | 0.0062 |
| Εύρος Αντίθεσης | 0.0219 |
| Εύρος Συσχέτισης | 0.0004 |

Πίνακας 5: Στατιστικά σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες Ερυθροποίηση μυελου (BME) STIR vs Οστεοαρθρίτιδα (OST) STIR

| Χαρακτηριστικά | Τιμή πιθανότητας(p- value) |
|-----------------------------|----------------------------|
| Μέση τιμή | 0.0184 |
| Μέση τιμή Συσχέτισης | 0.0059 |
| Μέση τιμή Ενέργειας | 0.0208 |
| Μέση τιμή Ομοιογένειας | 0.0274 |
| Εύρος Ενέργειας | 0.0097 |

Πίνακας 6: Στατιστικά σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες Ερυθροποίηση (BME) PD vs Οστεοαρθρίτιδα (OST) PD

| Χαρακτηριστικά | Τιμή πιθανότητας (p-value) |
|-----------------------------|----------------------------|
| Μέση τιμή | 0.0177 |
| Τυπική αποκλιση | 0.0089 |
| Ασυμμετρία | 0.0003 |
| Κύρτωση | 0.0001 |
| Μέση τιμή συσχέτισης | 0.0027 |
| Μέση τιμή ενέργειας | 0.0001 |
| Εύρος Ενέργειας | 0.0004 |

Πίνακας 7: Στατιστικά σημαντικά διαφορετικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες Οστεοαρθρίτιδα (OST) PD FS vs οστικό οίδημα απο κάκωση (INJ) PD

| Χαρακτηριστικά | Τιμή πιθανότητας (p-value) |
|---------------------|----------------------------|
| Μέση τιμή | 0.0014 |
| Ασυμμετρία | 0.0022 |
| Μέση τιμή Ενέργειας | 0.0406 |

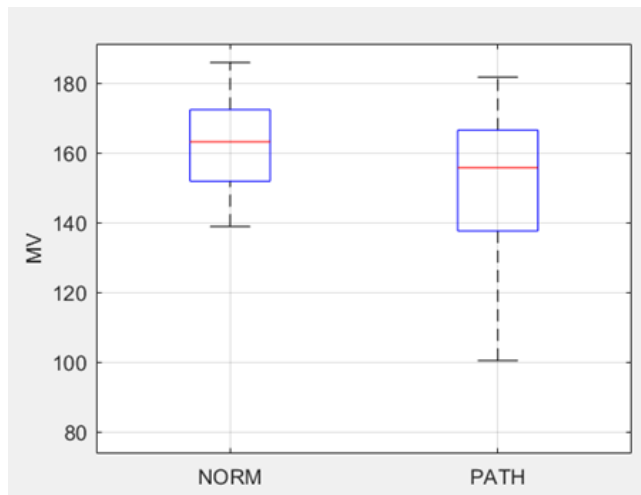
Όπως παρατηρούμε μετά την σύγκριση μεταξύ των παθολογικών OST και INJ σε σχέση με τα BME πιο συνήθη χαρακτηριστικά που παρουσίαζαν ακόμα και με το πιο αυστηρό κριτήριο για p value 0.01 είναι η μέση τιμή συσχέτισης και το εύρος ενέργειας μεταξύ άλλων όπως η τυπική απόκλιση, ασυμμετρία, κύρτωση, μέση τιμή ενέργειας. Οι κατηγορίες OST και INJ είχαν ως αποτέλεσμα άλλα χαρακτηριστικά όπως η μέση τιμή και η ασυμμετρία.

Αφού συγκρίθηκαν τα παθολογικά μεταξύ τους χωρίστηκαν όπως προαναφέρθηκε σε δυο κλάσεις τα παθολογικά που περιλαμβάνει και τις δύο κατηγορίες το οστικό οίδημα από κάκωση και την οστεοαρθρίτιδα και τα φυσιολογικά η κατηγορία της ερυθροποίησης μυελού. Τα αποτελέσματα όπως τα τρέξαμε με την τεχνική Wilcoxon Rank-Sum Test με p value 0.05 και με p value 0.01 αναφέρονται παρακάτω. Να σημειωθεί παλι ότι με έντονο μαύρο (bold) είναι όσα εμφάνισαν σημαντική στατιστική διαφορά και με p value 0.01.

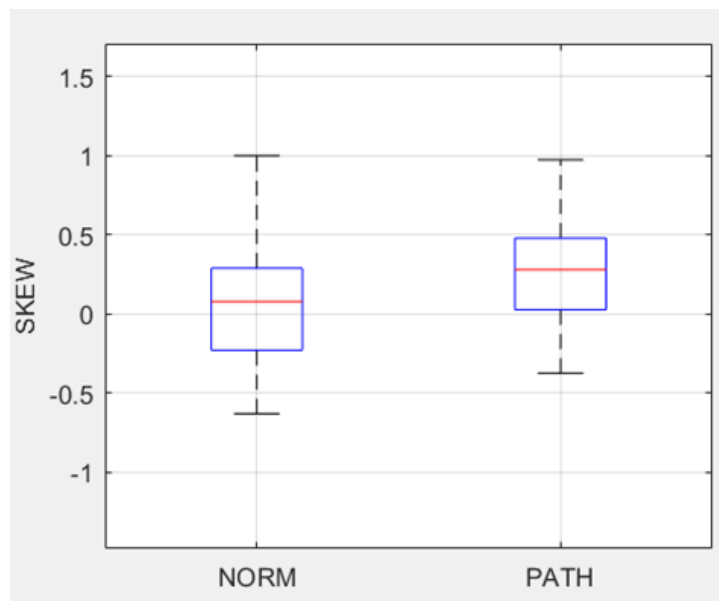
Πίνακας 8: Τα παθολογικά versus τα φυσιολογικά για SAG PD FS

| Χαρακτηριστικό | Τιμή πιθανότητας (p-value) |
|-------------------------|----------------------------|
| Μέση Τιμή | 0.0184 |
| Ασυμμετρία | 0.0191 |
| Ομοιογένεια | 0.0311 |
| Εύρος συσχέτισης | 0.0035 |

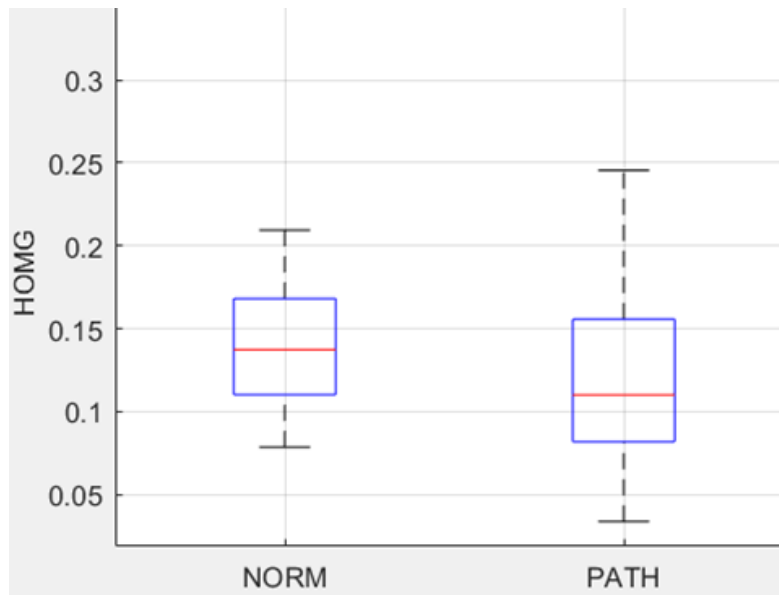
Βλέπουμε ότι με value 0.05 μας βγάζει ως τα χαρακτηριστικά με μεγαλύτερη στατιστική ανάλυση την μέση τιμή, την ασυμμετρία, ομοιογένεια και το εύρος συσχέτισης. Μετά την χρήση του πιο αυστηρού κριτηρίου με p value 0.01 εμφανίζει μόνο το εύρος συσχέτισης.



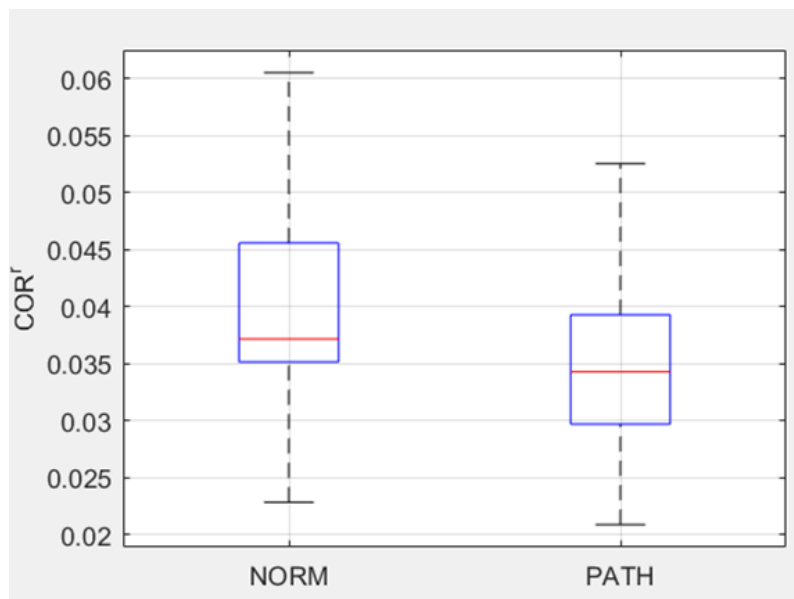
Εικόνα 14: Μέση τιμή των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά SAG PD FS



Εικόνα 15: Ασυμμετρία των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά SAG PD FS



Εικόνα 16: Ομοιογένεια των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά SAG PD FS



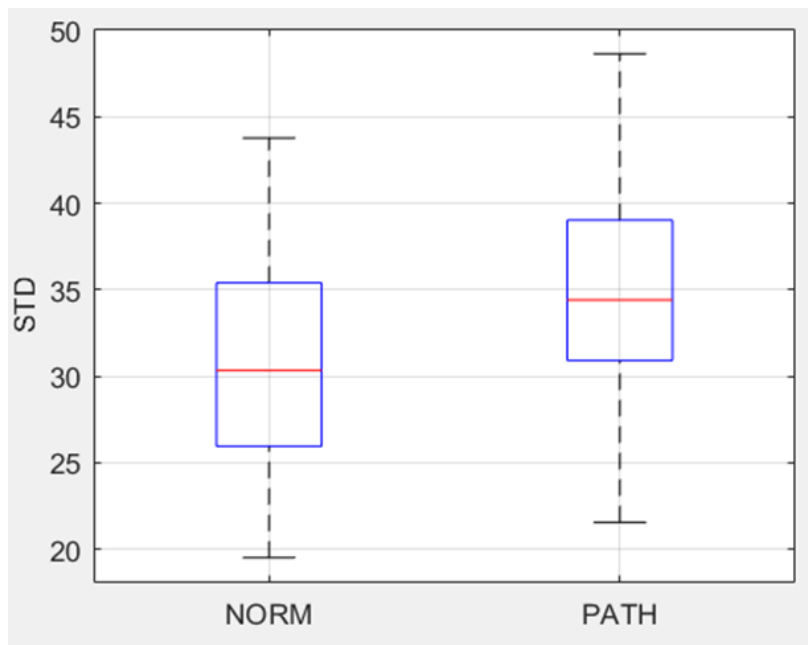
Εικόνα 17: Εύρος συσχέτισης των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά SAG PD FS

Πίνακας 9: Στατιστικά σημαντικές διαφορές των παθολογικών versus των φυσιολογικών για T2 STIR

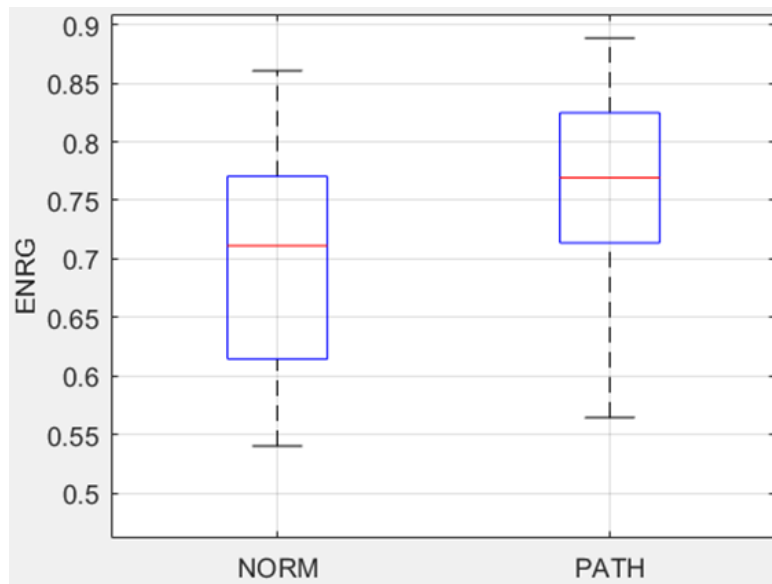
| Χαρακτηριστικά | Τιμή πιθανότητας(p-value) |
|-----------------|---------------------------|
| Τυπική απόκλιση | 0.0042 |
| Κύρτωση | 0.0356 |
| Ενέργεια | 0.0047 |
| Ομοιογένεια | 0.0015 |

| | |
|------------------------|---------------|
| Εύρος Αντίθεσης | 0.0191 |
| Εύρος Συσχέτισης | 0.0001 |
| Εύρος Ομοιογένειας | 0.0317 |

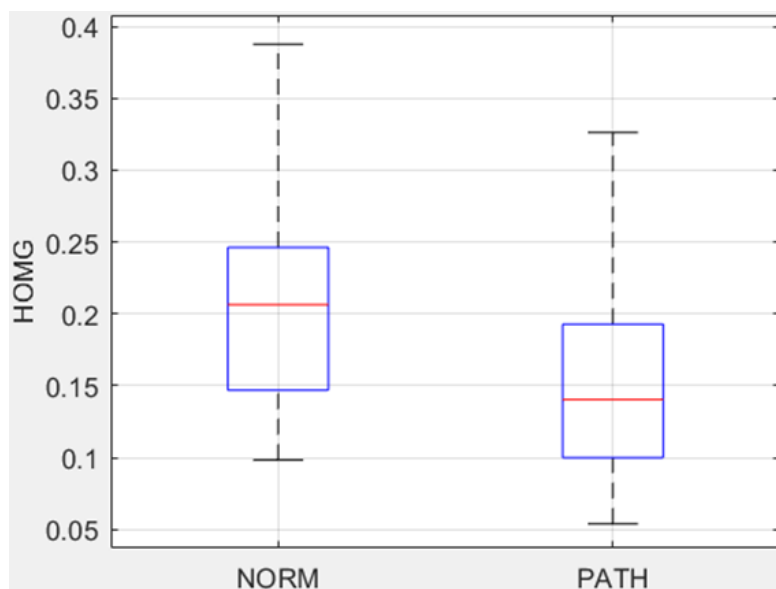
Βλέπουμε πως με value 0.05 μας βγάζει ως τα χαρακτηριστικά με μεγαλύτερη στατιστική ανάλυση την τυπική απόκλιση, την κύρτωση, την ενέργεια, ομοιογένεια, το εύρος της αντίθεσης, το εύρος της συσχέτισης, το εύρος της ομοιογένειας. Αφού στη συνέχεια βάλουμε πιο αυστηρό κριτήριο με p value 0.01 μας εμφανίζει τα χαρακτηριστικά τυπική απόκλιση, την ενέργεια, την ομοιογένεια και το εύρος της συσχέτισης. Σε σχέση με την ακολουθία PD FS η STIR ακολουθία παρουσιάζει περισσότερα χαρακτηριστικά ως αποτέλεσμα.



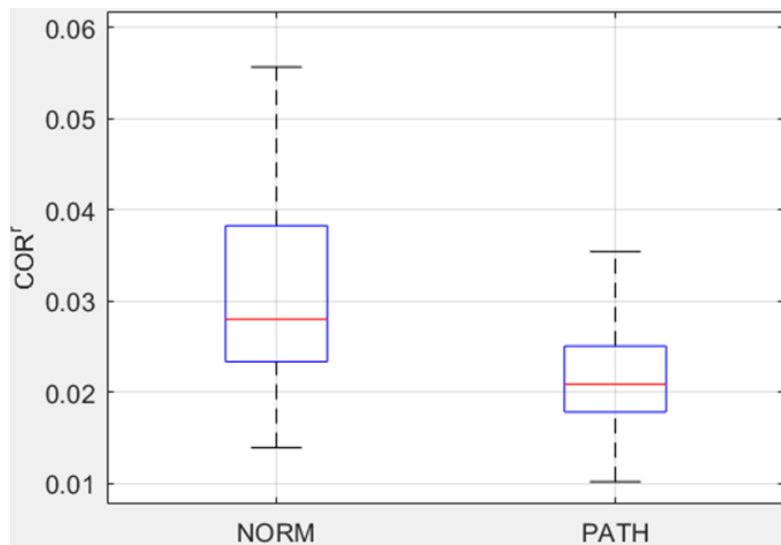
Εικόνα 18: Τυπική απόκλιση των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά T2 STIR



Εικόνα 19: Μέση ενέργεια των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά T2 STIR



Εικόνα 20: Ομοιογένεια των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά T2 STIR



Εικόνα 21: Εύρος συσχέτισης των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά T2 STIR

3.2 Συζήτηση Αποτελεσμάτων Στατιστικής Ανάλυσης

Ο οστικός μωλωπισμός (οστικό οίδημα) στην περιοχή του γονάτου είναι τις περισσότερες φορές αποτέλεσμα συνδεσμικών κακώσεων. Το αντιδραστικό οστικό οίδημα επί εδάφους οστεοαρθρίτιδας έχει χαρακτηριστική απεικόνιση στην περίπτωση της οστεοαρθρίτιδας με διαταραχή του άξονα του γονάτου μικρού οστικού οιδήματος στην περιφέρεια του κνημιαίου και του μηριαίου κονδύλου, με συνοδό εκφύλιση του μηνίσκου. Η εικόνα στη μαγνητική τομογραφία για τις ακολουθίες που είναι στα πλαίσια του πρωτοκόλλου ενός γονάτου PD FS και STIR εμφανίζει υψηλής έντασης σήματος. Πολλές φορές ο φυσιολογικός μυελός των οστών παρουσιάζει την ίδια υψηλής έντασης σήματος. Αυτό συμβαίνει γιατί ο μυελός των οστών ουσιαστικά όλων των οστών παράγει ερυθρά αιμοσφαίρια έως ότου ένα άτομο να φθάσει την ηλικία περίπου πέντε ετών. Η κνήμη και το μηριαίο αποτελούν σημαντικές θέσεις αιματοποίησης μέχρι την ηλικία των 25 ετών.

Όπως γνωρίζουμε μια ψηφιακή εικόνα αποτελείται από ένα πλήθος ανεξάρτητων pixel όπου το καθένα φέρει μία τιμή η οποία αντιστοιχεί σε έναν συγκεκριμένο τόνο του γκρι. Τα σύνολο των pixel σχηματίζει την εικόνα που βλέπουμε κάθε φορά. Για να κωδικοποιηθεί αυτή η πληροφορία χρησιμοποιούνται κάποια χαρακτηριστικά και συγκεκριμένα χαρακτηριστικά υψής. Η ποσοτικοποίηση της υψής επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά 1^{ης} τάξης και 2^{ης} τάξης που προκύπτουν είτε από τον πίνακα συνεμφάνισης (co occurrence matrix) είτε από τον πίνακα μήκους διαδρομής (run length) τόνων του γκρι.

Τα στατιστικά 1^{ης} τάξης περιγράφουν την συνολική κατανομή της χρωματικής πυκνότητας μίας εικόνας και υπολογίζονται από το κανονικοποιημένο gray level ιστόγραμμα της επιλεγμένης περιοχής της εικόνας.

Εμείς στη συγκεκριμένη μελέτη όπως έχει προαναφερθεί χρησιμοποιήσαμε για 1^{ης} τάξης χαρακτηριστικά Μέση Τιμή (Mean), Διακύμανση (standard deviation), Ασυμμετρία (Skewness), Κύρτωση (Kurtosis). Καθώς και τα χαρακτηριστικά 2^{ης} τάξης που προκύπτουν από το co-occurrence matrix Ενεργεια (Energy), Ομοιογένεια (Homogeneity), Αντίθεση (Contrast), Συσχέτιση (Correlation), την μέση τιμή και το εύρος του κάθε χαρακτηριστικού.

Θα πρέπει να γίνει μία επισήμανση ότι όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποτελούν συνάρτηση της απόστασης και της γωνίας. Η επίδραση της γωνίας δημιουργεί μία

ιδιαιτερότητα. Έστω ότι από μία εικόνα A προκύπτουν τα χαρακτηριστικά a, b, c και d από τις γωνίες 0° , 45° , 90° και 135° αντίστοιχα. Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχουμε και μία δεύτερη εικόνα B, η οποία είναι πανομοιότυπη με την A με τη μόνη διαφορά ότι έχει περιστραφεί κατά 90° σε σχέση με αυτή. Από την εικόνα B προκύπτουν τα χαρακτηριστικά c, d, a και b από τις γωνίες 0° , 45° , 90° και 135° αντίστοιχα. Δεδομένου ότι το περιεχόμενο υψής των δύο εικόνων είναι το ίδιο, πρέπει το αποτέλεσμα που δίνει ο εκάστοτε κανόνας ταξινόμησης για τα χαρακτηριστικά a, b, c και d να συμφωνεί με το αποτέλεσμα που δίνει ο ίδιος κανόνας για τα χαρακτηριστικά c, d, a και b. Προκειμένου να το διασφαλίσουμε αυτό, προτείνεται να μην γίνεται άμεση εισαγωγή των εξαρτώμενων από τη γωνία χαρακτηριστικών στους ταξινομητές, αλλά αντί αυτών, να εισάγονται η μέση τιμή και το εύρος τους καθώς τα χαρακτηριστικά αυτά παραμένουν ανεπηρέαστα από την όποια περιστροφή [19].

Τρέχοντας την εντολή ranksum λοιπόν ανάμεσα σε ζεύγη κατηγοριών παρατηρήθηκε το εξής. Αρχικά για τις κατηγορίες BME (φυσιολογικό) vs OST(οστεοαρθρίτιδα) STIR με το πιο αυστηρό κριτήριο p value 0.01 μεγαλύτερη στατιστική διαφορά παρουσίαζε η μέση τιμή συσχέτισης και το εύρος ενέργειας.

Για τις κατηγορίες BME (φυσιολογικό) vs OST (οστεοαρθρίτιδα) PD FS τα χαρακτηριστικά που διαφέρουν είναι πολλά περισσότερα. Η τυπική απόκλιση, η ασυμμετρία, η κύρτωση, η μέση τιμή συσχέτισης, η μέση τιμή ενέργειας, το εύρος ενέργειας. Για τη διαφοροποίηση και διάγνωσης λοιπόν της κατηγορίας των φυσιολογικών από την κατηγορία με ασθενείς με οστεοαρθρίτιδα περισσότερο θα μπορεί να συμβάλλει η ακολουθία PD FS.

Για της κατηγορίες BME (φυσιολογικό) vs INJ (κάκωση) πάλι η ακολουθία PD FS παρουσιάζει περισσότερα χαρακτηριστικά με μεγαλύτερη στατιστική διαφορά σε σχέση με την STIR ακολουθία.

Οι παθολογίες μεταξύ τους OST(οστεοαρθρίτιδα) vs INJ (κάκωση) και για τις δύο ακολουθίες παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά ως στατιστικά σημαντικά μέση τιμή και ασυμμετρία που σημαίνει οτι χωρίς την «a priori» γνώση που μας προσφέρει το ιστορικό του ασθενούς στατιστικά οι διαφορές είναι ελάχιστες.

Στη συνέχεια βάζοντας τις κατηγορίες OST (οστεοαρθρίτιδα) και INJ (κάκωση) σε μία κλάση των παθολογικών και τα BME (φυσιολογικό) σε μια άλλη κλάση των φυσιολογικών ξανατρέξαμε την εντολή ranksum και συγκρίναμε τα χαρακτηριστικά που εμφάνισαν στατιστική διαφορά μεταξύ τους και για τις δύο ακολουθίες.

Συγκεκριμένα, η μέση τιμή για την ακολουθία SAG PD FS (**Εικόνα 14**) των φυσιολογικών είναι υψηλότερη σε σχέση με τα παθολογικά που σημαίνει ότι η φωτεινότητα των pixels στα φυσιολογικά είναι υψηλότερη σε σχέση με τα παθολογικά. Το χαρακτηριστικό ασυμμετρία των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά για SAG PD FS (**Εικόνα 15**) δεν παρουσιάζει μεγάλη διαφορά ωστόσο υπερέχουν λίγο τα παθολογικά. Αυτό σημαίνει οτι έχω θετική ασυμμετρία και η πλειονότητα των pixels είναι πιο σκοτεινή. Η Ομοιογένεια (**Εικόνα 16**) των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά SAG PD FS ως χαρακτηριστικό. Η ομοιογένεια ως χαρακτηριστικό των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά για την PD FS εμφανίζει υψηλότερες τιμές. Η τιμή της ωστόσο, δεν είναι τόσο μεγάλη και μπορεί να οφείλεται σε πολλούς εξωτερικούς παράγοντες όπως την τοποθέτηση του γονάτος στο πηνίο, την σωματική διάπλαση του ασθενούς ακόμα και από την ομοιογένεια του Μαγνητικού τομογράφου για να επιτευχθεί η καταστολή του λίπους. Βέβαια μια φυσιολογική εικόνα ενός γονάτος είναι λογικό να παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιογένεια από οτι μια παθολογική εικόνα.

Το χαρακτηριστικό εύρος συσχέτισης (**Εικόνα 17**) των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά SAG PD FS. Παρά το γεγονός ότι οι τιμές που παίρνει και στα φυσιολογικά και στα παθολογικά είναι χαμηλές, υπερτερεί ως προς τα φυσιολογικά ελάχιστα που σημαίνει ότι οι τιμές των pixels που σχετίζονται είναι πολλαπλάσιες στα φυσιολογικά.

Το χαρακτηριστικό τυπική απόκλιση για την T2 STIR ακολουθία (**Εικόνα 18**) των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά εμφανίζει υψηλότερες τιμές στα παθολογικά όπου θεωρείται φυσιολογικό οι παθολογικές εικόνες να παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ τους.

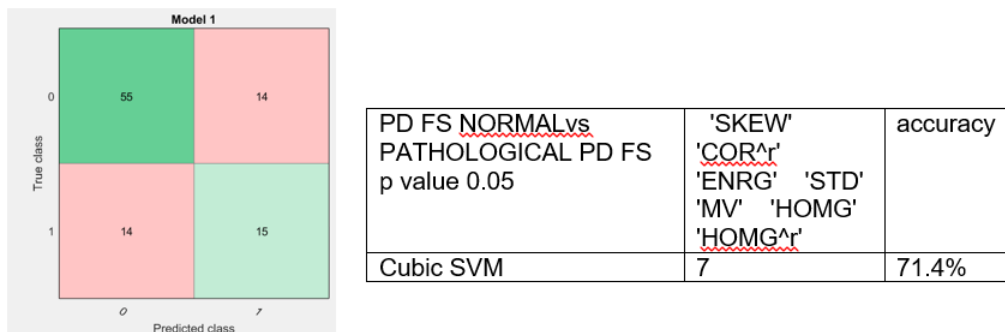
Η μέση ενέργεια ως χαρακτηριστικό για την T2 STIR ακολουθία (**Εικόνα 19**) εμφανίζει υψηλότερη τιμή στα παθολογικά από ότι στα φυσιολογικά δηλαδή η εικόνα της ακολουθίας STIR στα παθολογικά εμφανίζει χαμηλό αριθμό των επιπέδων του γκρι για αυτό και η ενέργεια είναι υψηλότερη.

Η ομοιογένεια (**Εικόνα 20**) ως χαρακτηριστικό των φυσιολογικών σε σχέση με τα παθολογικά για την T2 STIR εμφανίζει πάλι υψηλότερες τιμές από ότι στα παθολογικά όπως και για την ακολουθία PD FS. Ωστόσο, παρατηρούμε ότι οι τιμές γενικότερα του χαρακτηριστικού ομοιογένεια σε σχέση με το χαρακτηριστικό ομοιογένεια για την PD FS πιο υψηλές. Αυτό μπορεί να οφείλεται και στη χρήση της ίδιας της ακολουθίας STIR η οποία είναι μια ακολουθία κατεξοχήν καταστολής του λίπους και δεν είναι ευαίσθητη στην ανομοιογένεια που μπορεί να προκληθεί από εξωτερικούς παράγοντες που έχουν αναφερθεί παραπάνω για την PD FS.

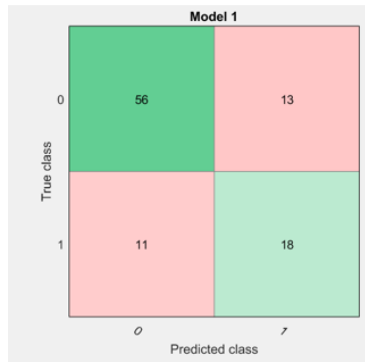
Τέλος παρατηρείται ότι το χαρακτηριστικό εύρος συσχέτισης (**Εικόνα 21**) στα φυσιολογικά εμφανίζει υψηλότερες τιμές από ότι στα παθολογικά και στην STIR ακολουθία. Το ίδιο παρατηρήθηκε για το ίδιο χαρακτηριστικό και για την PD FS. Οι τιμές των pixels που σχετίζονται είναι πολλαπλάσιες στα φυσιολογικά.

3.3 Αποτελέσματα Ταξινόμησης Και Πίνακες Αληθείας

Παρακάτω βλέπουμε τα αποτελέσματα μετά την χρήση της rank-features πριν την ταξινόμηση των προτύπων. Έγινε συνδυασμός μέχρι 10 καλύτερα χαρακτηριστικά έχοντας αποθηκεύσει τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης από το Wilcoxon rank test. Παρακάτω παρατηρούμε τους πίνακες αληθείας των καλύτερων ποσοστών.

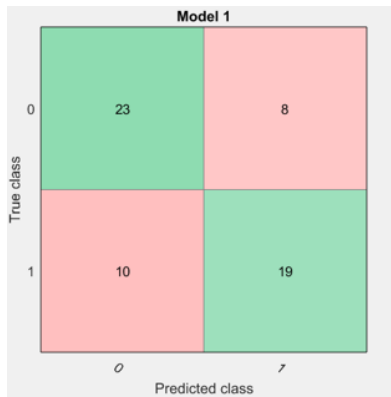


Εικόνα 22: Πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, τυπική απόκλιση, μέση τιμή, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας)PD FS



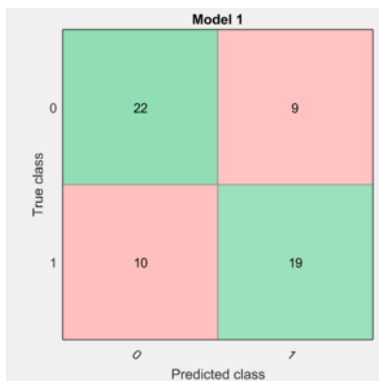
| | | |
|--|--|----------|
| STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL STIR p value 0.05 | 'STD' 'ENRG' 'COR^r' 'HOMG' 'CONT^r' 'SKEW' 'HOMG^r' 'CONT' | accuracy |
| Cubic SVM | 8 | 75.5% |

Εικόνα 23: Πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος αντίθεσης, ασυμμετρία, εύρος ομοιογένειας, αντίθεση) T2 STIR



| | | |
|--|--|----------|
| PD FS BME vs INJ PD FS p value 0.05 | 'SKEW' 'ENRG' 'COR^r' 'MV' 'STD' | accuracy |
| Cubic SVM | 5 | 70% |

Εικόνα 24: Πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (ασυμμετρία, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, μέση τιμή, τυπική απόκλιση) PD FS



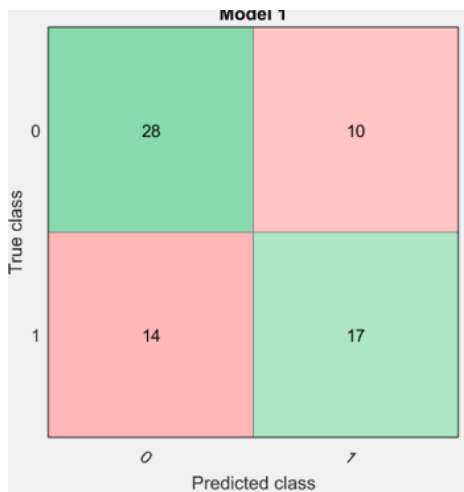
| | | |
|--------------------------------------|--|----------|
| STIR BME vs INJ STIR p value 0.05 | 'ENRG' 'COR^r' 'STD' 'HOMG' 'SKEW' 'CONT^r' 'CONT' | accuracy |
| Cubic SVM | 7 | 68.3% |

Εικόνα 25: Πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία, εύρος αντίθεσης, αντίθεση) T2 STIR



| PD FS OST vs INJ PD FS p value 0.05 | 'MV' 'SKEW' 'ENRG' 'STD' 'COR^r' 'HOMG' 'HOMG^r' | accuracy |
|-------------------------------------|--|--------------|
| Cubic SVM | 7 | 62.3% |

Εικόνα 26: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό(μέση τιμή, ασυμμετρία, ενέργεια, τυπική απόκλιση, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας) PD FS



| STIR OST vs INJ STIR p value 0.05 | 'MV' 'SKEW' 'COR' 'CONT' | accuracy |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| Cubic SVM | 4 | 65.2% |

Εικόνα 27: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση)T2 STIR



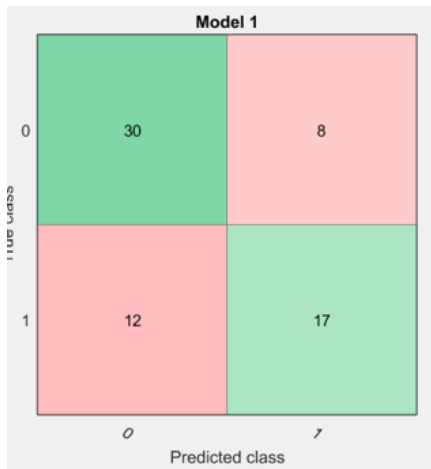
| PD FS BME vs OST PD FS p value 0.05 | 'SKEW' 'COR^r' 'STD' 'ENRG' 'HOMG' 'MV' | accuracy |
|-------------------------------------|--|--------------|
| Cubic SVM | 6 | 67.2% |

Εικόνα 28: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό(ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή) SAG PD FS



| PD FS BME vs OST PD FS p value 0.05 | 'SKEW' 'COR^r' 'STD' 'ENRG' 'HOMG' 'MV' 'HOMG^r' 'ENRG^r' | accuracy |
|-------------------------------------|--|--------------|
| Cubic SVM | 8 | 67.2% |

Εικόνα 29: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας) SAG PD FS



| STIR BME vs OST STIR p value 0.05 | 'STD' 'ENRG' 'COR^r' 'HOMG' 'KURT' 'MV' | accuracy |
|-----------------------------------|--|--------------|
| Cubic SVM | 6 | 70.1% |

Εικόνα 30: πίνακας αληθείας για τον συνδυασμό (τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, κύρτωση, μέση τιμή) T2 STIR

Πίνακας 10: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδυασμού SAG PS FS NORMAL vs PATHOLOGICAL

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ (p value < 0.05) | ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ | ΑΚΡΙΒΕΙΑ |
|---|---|----------|
| PD FS NORMAL vs PATHOLOGICAL PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, τυπική απόκλιση (4) | 64.30% |
| PD FS NORMAL vs PATHOLOGICAL PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, τυπική απόκλιση, μέση τιμή (5) | 66.30% |
| PD FS NORMAL vs PATHOLOGICAL PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, τυπική απόκλιση, μέση τιμή, ομοιογένεια (6) | 67.30% |

| | | |
|---|---|---------------|
| PD FS NORMAL vs PATHOLOGICAL PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, τυπική απόκλιση, μέση τιμή, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας (7) | 71.40% |
| PD FS NORMAL vs PATHOLOGICAL PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, τυπική απόκλιση, μέση τιμή, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας (8) | 70.40% |
| PD FS NORMAL vs PATHOLOGICAL PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, τυπική απόκλιση, μέση τιμή, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας, συσχέτιση (9) | 65.30% |
| PD FS NORMAL vs PATHOLOGICAL PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, τυπική απόκλιση, μέση τιμή, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας, συσχέτιση, κύρτωση (10) | 66.30% |

Πίνακας 11: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδιασμού STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ p value < 0.05 | ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ | ΑΚΡΙΒΕΙΑ |
|--|---|-----------------|
| STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια (4) | 72.40% |
| STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος αντίθεσης (5) | 66.30% |
| STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος αντίθεσης, ασυμμετρία (6) | 66.30% |
| STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος αντίθεσης, ασυμμετρία, εύρος ομοιογένειας (7) | 73.50% |
| STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος | 75.50% |

| | | |
|---|--|--------|
| | αντίθεσης, ασυμμετρία, εύρος ομοιογένειας, αντίθεση (8) | |
| STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος αντίθεσης, ασυμμετρία, εύρος ομοιογένειας, αντίθεση, κύρτωση (9) | 72.40% |
| STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος αντίθεσης, ασυμμετρία, εύρος ομοιογένειας, αντίθεση, κύρτωση, μέση τιμή (10) | 72.40% |
| STIR NORMAL vs PATHOLOGICAL STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια (4) | 72.40% |

Πίνακας 12: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδιασμού SAG PD FS BME vs INJ

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ p value < 0.05 | ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ | ΑΚΡΙΒΕΙΑ |
|--|---|-----------------|
| PD FS BME vs INJ PD FS | ασυμμετρία, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, μέση τιμή (4) | 68.30% |
| PD FS BME vs INJ PD FS | ασυμμετρία, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, μέση τιμή, τυπική απόκλιση(5) | 70% |
| PD FS BME vs INJ PD FS | ασυμμετρία, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια (6) | 66.70% |
| PD FS BME vs INJ PD FS | ασυμμετρία, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας (7) | 60% |
| PD FS BME vs INJ PD FS | ασυμμετρία, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας(8) | 51.70% |
| PD FS BME vs INJ PD FS | ασυμμετρία, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, εύρος | 61.70% |

| | | |
|-------------------------------|---|--------|
| | ομοιογένειας, εύρος ενέργειας, συσχέτιση (9) | |
| PD FS BME vs INJ PD FS | ασυμμετρία, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας, συσχέτιση, εύρος αντίθεσης (10) | 53.30% |

Πίνακας 13: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδιασμού STIR BME vs INJ

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ p value < 0.05 | ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ | ΑΚΡΙΒΕΙΑ |
|--|---|-----------------|
| STIR BME vs INJ STIR | ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια (4) | 63.30% |
| STIR BME vs INJ STIR | ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία (5) | 65% |
| STIR BME vs INJ STIR | ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία, εύρος αντίθεσης (6) | 66.70% |
| STIR BME vs INJ STIR | ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία, εύρος αντίθεσης, αντίθεση (7) | 68.30% |
| STIR BME vs INJ STIR | ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία, εύρος αντίθεσης, αντίθεση, εύρος ομοιογένειας (8) | 58.30% |
| STIR BME vs INJ STIR | ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία, εύρος αντίθεσης, αντίθεση, εύρος ομοιογένειας, κύρτωση (9) | 60% |
| STIR BME vs INJ STIR | ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία, εύρος αντίθεσης, αντίθεση, εύρος ομοιογένειας, κύρτωση, εύρος ενέργειας (10) | 58.30% |

Πίνακας 14: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδιασμού SAG PD FS OST vs INJ

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ p value < 0.05 | ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ | ΑΚΡΙΒΕΙΑ |
|--|---------------------------------------|-----------------|
| | | |

| | | |
|-------------------------|---|---------------|
| PD FS OST vs INJ | μέση τιμή, ασυμμετρία, ενέργεια, τυπική απόκλιση (4) | 58% |
| PD FS OST vs INJ | μέση τιμή, ασυμμετρία, ενέργεια, τυπική απόκλιση, εύρος συσχέτισης(5) | 59.40% |
| PD FS OST vs INJ | μέση τιμή, ασυμμετρία, ενέργεια, τυπική απόκλιση, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια (6) | 60.09% |
| PD FS OST vs INJ | μέση τιμή, ασυμμετρία, ενέργεια, τυπική απόκλιση, ευρος συσχετισης, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας (7) | 62.30% |
| PD FS OST vs INJ | Μέση τιμή, ασυμμετρία, ενέργεια, τυπική απόκλιση, ευρος συσχετισης, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας (8) | 55.10% |
| PD FS OST vs INJ | μέση τιμή, ασυμμετρία, ενέργεια, τυπική απόκλιση, ευρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας, εύρος αντίθεσης (9) | 59.40% |
| PD FS OST vs INJ | μέση τιμή, ασυμμετρία, ενέργεια, τυπική απόκλιση, ευρος συσχετισης, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας, εύρος αντίθεσης, κύρτωση (10) | 55.10% |

Πίνακας 15: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδιασμού STIR OST vs INJ.

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ value < 0.05 | ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ | ΑΚΡΙΒΕΙΑ |
|--|---|-----------------|
| STIR OST vs INJ STIR | μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση (4) | 65.20% |
| STIR OST vs INJ STIR | μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση, εύρος ενέργειας (5) | 49.30% |
| STIR OST vs INJ STIR | μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση, εύρος ενέργειας, εύρος συσχέτισης (6) | 52.20% |
| STIR OST vs INJ STIR | μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση, εύρος ενέργειας, εύρος συσχέτισης, ενέργεια (7) | 59.40% |

| | | |
|---------------------------------|---|--------|
| STIR OST vs INJ STIR | μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση, εύρος ενέργειας, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, κύρτωση (8) | 53.60% |
| STIR OST vs INJ STIR | μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση, εύρος ενέργειας, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, κύρτωση, εύρος αντίθεσης (9) | 56.50% |
| STIR OST vs INJ STIR | μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση, εύρος ενέργειας, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, κύρτωση, εύρος αντίθεσης, ομοιογένεια (10) | 59.40% |

Πίνακας 16: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδιασμού SAG PD FS BME vs OST.

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΕΩΝ p value < 0.05 | ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ | ΑΚΡΙΒΕΙΑ |
|--|---|-----------------|
| PD FS BME vs OST PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια (4) | 61.20% |
| PD FS BME vs OST PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια (5) | 61.20% |
| PD FS BME vs OST PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή (6) | 67.20% |
| PD FS BME vs OST PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας (7) | 59.70% |
| PD FS BME vs OST PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας (8) | 67.20% |
| PD FS BME vs OST PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας, συσχέτιση (9) | 59.70% |

| | | |
|-------------------------------|---|--------|
| PD FS BME vs OST PD FS | ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας, συσχέτιση, κύρτωση (10) | 56.70% |
|-------------------------------|---|--------|

Πίνακας 17: Ακρίβεια ταξινομητή κάθε συνδιασμού STIR BME vs OST

| | | |
|-----------------------------|--|---------------|
| STIR BME vs OST STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια (4) | 68.70% |
| STIR BME vs OST STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, κύρτωση (5) | 67.20% |
| STIR BME vs OST STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, κύρτωση, μέση τιμή (6) | 70.10% |
| STIR BME vs OST STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, κύρτωση, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας (7) | 68.70% |
| STIR BME vs OST STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, κύρτωση, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας, εύρος αντίθεσης(8) | 68.70% |
| STIR BME vs OST STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, κύρτωση, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας, εύρος αντίθεσης, αντίθεση (9) | 67.20% |
| STIR BME vs OST STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, κύρτωση, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας, εύρος αντίθεσης, αντίθεση, ασυμμετρία (10) | 65.70% |
| STIR BME vs OST STIR | τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια (4) | 68.70% |

3.4 Συζήτηση Αποτελεσμάτων Ταξινόμησης

Συγκρίνοντας το πλήθος των παραπάνω αποτελεσμάτων συμπεραίνουμε ότι το ποσοστό επιτυχίας και ακρίβειας είναι σχετικά χαμηλό. Συγκεκριμένα, για την ακολουθία PD FS για τα φυσιολογικά (NORMAL) και τα παθολογικά (PATHOLOGICAL) όπου περιλαμβάνουν την οστεοαρθρίτιδα και το οίδημα από κάκωση τα χαρακτηριστικά ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, ενέργεια, τυπική απόκλιση, μέση τιμή, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας σύνολο 7 χαρακτηριστικά μας δίνουν 71.40% ακρίβεια. Ωστόσο, βλέποντας τον πίνακα αληθείας 14 από τα 29 φυσιολογικά τα κατατάσσει λάθος στην άλλη κατηγορία των παθολογικών (**Εικόνα 22**). Από την άλλη για την STIR ακολουθία τα NORMAL και PATHOLOGICAL για τα χαρακτηριστικά τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος αντίθεσης ασυμμετρία, εύρος ομοιογένειας, αντίθεση σε σύνολο 8 χαρακτηριστικών εμφάνισαν ποσοστό ακριβείας 75.50% (**Εικόνα 23**) και κατατάσσει τα 11 από τα 29 τα φυσιολογικά στα παθολογικά λάθος. Άρα η STIR ακολουθία με τον συγκεκριμένο συνδυασμό χαρακτηριστικών παρουσιάζει καλύτερο ποσοστό. Στη συνέχεια απομονώνοντας τις κατηγορίες ανα δύο και ξεκινώντας για την ακολουθία PD FS για τα φυσιολογικά (BME) με το οίδημα από κάκωση (INJ) για τα χαρακτηριστικά ασυμμετρία, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, μέση τιμή, τυπική απόκλιση σε σύνολο χαρακτηριστικών 5 με ποσοστό ακρίβειας 70% κατατάσσει 10 από τα 29 φυσιολογικά στα παθολογικά λάθος (**Εικόνα 24**). Για την STIR ακολουθία για τις ίδιες κατηγορίες BME και INJ τα χαρακτηριστικά ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία, εύρος αντίθεσης, αντίθεση, σε 7 σύνολο έβγαλαν ως μεγαλύτερο ποσοστό το 68.30% και κατατάσσει τα 10 από τα 29 φυσιολογικά λάθος στα παθολογικά (**Εικόνα 25**). Για την ακολουθία PD FS για τις κατηγορίες OST vs INJ χαρακτηριστικά μέση τιμή, ασυμμετρία, ενέργεια, τυπική απόκλιση, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος ομοιογένειας σε σύνολο 7 έβγαλε ως αποτέλεσμα ακρίβεια 62.30% και κατατάσσει 14 από τα 31 Rois που ανήκουν στο οίδημα από κάκωση (INJ) στην οστεοαρθρίτιδα λανθασμένα (OST) (**Εικόνα 26**). Για την ακολουθία STIR για τις κατηγορίες OST και INJ τα χαρακτηριστικά μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση σε σύνολο 4 χαρακτηριστικά παρουσίασε ποσοστό ακρίβειας 65.20% και κατατάσσει τα 14 από τα 31 που ανήκουν στο οίδημα από κάκωση (INJ) στην οστεοαρθρίτιδα λανθασμένα (OST) (**Εικόνα 27**). Για την ακολουθία PD FS για τα φυσιολογικά (BME) και την οστεοαρθρίτιδα (OST) τα χαρακτηριστικά ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή σε σύνολο 6 και τα χαρακτηριστικά ασυμμετρία, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ενέργεια, ομοιογένεια, μέση τιμή, εύρος ομοιογένειας, εύρος ενέργειας σε σύνολο 8 έδωσε ποσοστό ακρίβειας 67.20% και για τους δύο συνδυασμούς χαρακτηριστικών (**Εικόνα 28** και **Εικόνα 29**) κατατάσσει 13 φυσιολογικά (BME) λανθασμένα στην οστεοαρθρίτιδα (OST). Για την STIR ακολουθία για τα φυσιολογικά (BME) και την οστεοαρθρίτιδα (OST) τα χαρακτηριστικά τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, κύρτωση, μέση τιμή σε σύνολο 6 χαρακτηριστικών έδωσε ποσοστό ακρίβειας 70.10% και κατατάσσει 12 από τα 29 φυσιολογικά λανθασμένα στην οστεοαρθρίτιδα (OST) (**Εικόνα 30**).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Το οστικό οίδημα στην περιοχή του γονάτος εκτός απο αποτέλεσμα συνδεσμικών κακώσεων, θεωρείται ως «προάγγελος» της οστεοαρθρίτιδας και μπορεί να δημιουργηθεί και αντιδραστικά απο αυτή. Η ερυθροποίηση μυελού απο την άλλη θεωρείται μια φυσιολογική κατάσταση. Παρά το γεγονός οτι απεικονιστικά αυτές οι κατηγορίες είναι δύσκολο να διαφοροποιηθούν και να διακριθούν στατιστικά υπάρχει διαφοροποίηση ως προς κάποια χαρακτηριστικά. Ωστόσο, τα ποσοστά ακριβείας που μας έδωσε ο Cubic SVM είναι χαμηλά το οποίο μπορεί να οφείλεται είτε στην άνιση κατανομή των αριθμών των Rois είτε στην επιλογή των χαρακτηριστικών. Συγκριμένα, τα καλύτερα σχετικά αποτελέσματα είναι για την STIR ακολουθία τα NORMAL και PATHOLOGICAL για τα χαρακτηριστικά τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, εύρος αντίθεσης, ασυμμετρία, εύρος ομοιογένειας, αντίθεση σε σύνολο 8 χαρακτηριστικών εμφάνισαν ποσοστό ακριβείας 75.50% και κατατάσσει τα 11 απο τα 29 τα φυσιολογικά στα παθολογικά λάθος. Για την STIR ακολουθία για τις ίδιες κατηγορίες BME και INJ τα χαρακτηριστικά ενέργεια, εύρος συσχέτισης, τυπική απόκλιση, ομοιογένεια, ασυμμετρία, εύρος αντίθεσης, αντίθεση, σε 7 σύνολο έβγαλαν ως μεγαλύτερο ποσοστό το 68.30% και κατατάσσει τα 10 απο τα 29 φυσιολογικά λάθος στα παθολογικά. Για την STIR ακολουθία για τα φυσιολογικά (BME) και την οστεοαρθρίτιδα (OST) τα χαρακτηριστικά τυπική απόκλιση, ενέργεια, εύρος συσχέτισης, ομοιογένεια, κύρτωση, μέση τιμή σε σύνολο 6 χαρακτηριστικών έδωσε ποσοστό ακριβείας 70.10% και κατατάσσει 12 απο τα 29 φυσιολογικά λανθασμένα στην οστεοαρθρίτιδα (OST). Για την ακολουθία STIR για τις κατηγορίες OST και INJ τα χαρακτηριστικά μέση τιμή, ασυμμετρία, συσχέτιση, αντίθεση σε σύνολο 4 χαρακτηριστικά παρουσίασε ποσοστό ακρίβειας 65.20% και κατατάσσει τα 14 απο τα 31 που ανήκουν στο οίδημα απο κάκωση (INJ) στην οστεοαρθρίτιδα λανθασμενα (OST).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

| Ξενόγλωσσος όρος | Ελληνικός Όρος |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Mean | Μέση Τιμή |
| Standard Deviation | Τυπική Απόκλιση |
| Skewness | Ασυμμετρία |
| Kurtosis | Κύρτωση |
| Energy | Ενεργεια |
| Homogeneity | Ομοιογένεια |
| Contrast | Αντίθεση |
| Correlation | Συσχέτιση |
| Spatial Features | Χαρακτηριστικά Χώρου |
| Gray Level Co-Occurrence Matrix | Πίνακας Συνεμφάνισης |
| Run-Length Matrix | Πίνακα Μήκους Διαδρομής |
| Magnetic Resonance Imaging-Mri | Μαγνητικός Συντονισμός |
| Permanent Magnets | Μόνιμοι Μαγνήτες |
| Superconductive Magnets | Υπεραγώγιμοι Μαγνήτες |
| Resistive Magnets | Μαγνήτες Αντιστάσεως |
| Superconductivity | Υπεραγωγιμότητα |
| Gradient Coils | Πηνία Βαθμίδας |
| Shim Coils | Πηνία Εξομόλυνσης |
| RF Coils | Πηνία RF |
| Textural Features | Χαρακτηριστικά Υφής |
| Geometrical Features | Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά |
| Transform Features | Χαρακτηριστικά Από Μετασχηματισμό |
| Short Run Emphasis | Σύντομο μήκος διαδρομής |
| Long Run Emphasis | Μεγάλο μήκος διαδρομής |
| Gray-Level Non-Uniformity | Ανομοιομορφία μήκους διαδρομής |
| Run Length Non-Uniformity | Διάρκεια ανομοιομορφίας |
| Run Percentage | Ποσοστό μήκους |

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

| | |
|------|------------------------------|
| MRI | MAGNETIC RESONANCE IMAGING |
| OST | OSTEOARTHRITIS |
| BME | BONE MARROW EDEMA |
| INJ | INJURY |
| STIR | SHORT TAU INVERSION RECOVERY |
| PD | PROTON DENSITY |
| FS | FAT SAT |
| T | TESLA |
| RF | RADIOFREQUENCY |
| ROIS | REGIONS OF INTERESTS |
| LRE | Long Run Emphasis |
| GLNU | Gray-Level Non-Uniformity |
| RLNU | Run Length Non-Uniformity |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή χαρακτηριστικών ήταν ο εξής:

```
clc;clear all;close all force
```

```
wd = pwd;
```

```
Pathol = {'BME', 'INJ', 'OST'};
```

```
Seq = {'SAG', 'T2'};
```

```
% ===== SELECT Pathology & Seq =====
```

```
sel_path = 3;%1:'BME', 2: 'INJ', 3: 'OST'
```

```
sel_plan = 2;:%1:PD Sag, 2:STIR T2
```

```
% =====
```

```
PathDir = [wd '\ Pathol{sel_path} \' Seq{sel_plan}]
```

```
cd(PathDir)
```

```
filenames = ls;
```

```
filenames(1:2,:) = [];
```

```
for id = 1:size(filenames,1)
```

```
    fname = filenames(id,:);
```

```
    im = imread(fname);
```

```
    %===== Feature extraction =====
```

```
    ROI = double(im);
```

```
    roi2 = ROI(:);
```

```
    roi2(roi2<1) = [];
```

```
    %1st order statistics
```

```
    f(1) = mean(roi2); %Mean Value
```

```
    f(2) = std(roi2); %Standard Deviation
```

```
    f(3) = skewness(roi2);%Skewness
```

```
    f(4) = kurtosis(roi2);%kurtosis
```

```
    %2nd order statistics
```

```
    ROI(ROI<1) = NaN;
```

```
    Num_Tones = max(ROI(:));
```

```
    i_d = 1;%interpixel distance
```

```

ql = 3;%quantization level
Co0 = graycomatrix(ROI,'GrayLimits',[],'NumLevels',2^ql,'Offset',[0 i_d],'Symmetric',true);
Co45=graycomatrix(ROI,'GrayLimits',[],'NumLevels',2^ql,'Offset',[-i_d
i_d],'Symmetric',true);
Co90=graycomatrix(ROI,'GrayLimits',[],'NumLevels',2^ql,'Offset',[-i_d
0],'Symmetric',true);
Co135=graycomatrix(ROI,'GrayLimits',[],'NumLevels',2^ql,'Offset',[-i_d
i_d],'Symmetric',true);
stats0 = graycoprops(Co0);
stats45 = graycoprops(Co45);
stats90 = graycoprops(Co90);
stats135 = graycoprops(Co135);
f(5) = mean([stats0.Contrast stats45.Contrast stats90.Contrast stats135.Contrast]);
f(6) = range([stats0.Contrast stats45.Contrast stats90.Contrast stats135.Contrast]);
f(7) = mean([stats0.Correlation stats45.Correlation stats90.Correlation
stats135.Correlation]);
f(8) = range([stats0.Correlation stats45.Correlation stats90.Correlation
stats135.Correlation]);
f(9) = mean([stats0.Energy stats45.Energy stats90.Energy stats135.Energy]);
f(10) = range([stats0.Energy stats45.Energy stats90.Energy stats135.Energy]);
f(11) = mean([stats0.Homogeneity stats45.Homogeneity stats90.Homogeneity
stats135.Homogeneity]);
f(12) = range([stats0.Homogeneity stats45.Homogeneity stats90.Homogeneity
stats135.Homogeneity]);
feat(id,:) = f;
end
cd(wd)
FeatNames =
{'MV','STD','SKEW','KURT','CONT','COR','ENRG','HOMG','CONT^r','COR^r','ENRG^r','HO
MG^r'};
fsave = [Pathol{sel_path} '_' Seq{sel_plan}]
save(fsave, 'feat', 'FeatNames');
Ο κώδικας για την στατιστική ανάλυση έχει ως ακολούθως:
clc;clear all;close all force
wd = pwd;
load BME_SAG
Class{1,1} = feat;%29
clear feat;

```

```

load BME_T2
Class{1,2} = feat;
clear feat;
load INJ_SAG
Class{2,1} = feat;%31
clear feat;
load INJ_T2
Class{2,2} = feat;
clear feat;
load OST_SAG
Class{3,1} = feat;%38
clear feat;
load OST_T2
Class{3,2} = feat;
Feat_Labels = FeatNames;
Pathol = {'BME', 'INJ', 'OST'};
Plane = {'Sag PD', 'T2 ST'};
xorisma = 1;%1:Pathological Edema Vs Physiological Edema
Plane = 2;%1:PD Sag, 2:STIR T2
pvalue = 0.05;
switch xorisma
    case 1
        Class2{1} = [Class{1,Plane}];
        Class2{2} = [Class{2,Plane};Class{3,Plane}];
        Super = [Class2{1};Class2{2}];
        clas_TEXT{1} = 'NORM';clas_TEXT{2} = 'PATH';f_xor = 'PathNorm';
        y = zeros(size(Super,1),1); y(1:size(Class2{1},1)) = 1;%NR-PTH
    case 2
        Class2{1} = [Class{1,1}];
        Class2{2} = [Class{1,2}];
        Super = [Class2{1};Class2{2}];
        clas_TEXT{1} = 'NORM';clas_TEXT{2} = 'PATH';f_xor = 'PathNorm';
        y = zeros(size(Super,1),1); y(1:size(Class2{1},1)) = 1;%NR-PTH
end
clear Class;Class = Class2;clear Class2;
for i=1:size(Super,2)
    [pW(i),hW(i)] = ranksum(Class{1}{:,i),Class{2}{:,i},pvalue);
end
feat = find(hW==1)
pW(feat)
NumClasses = size(Class,2);
Feat_Labels(feat)'
Feat_Label = Feat_Labels;
% return
clas_col{1} = 'b.';
clas_col{2} = 'r.';
clas_std{1} = 'b+';
clas_std{2} = 'r+';
Nf = size(feat,2);

```

```

for fi = 1:Nf
    TEXT{fi} = []; ToBoxPlot{fi} = [];
    for ii = 1:NumClasses
        ToBoxY{fi,ii} = Class{ii}(:,feat(fi));
        size_cl(ii) = size(ToBoxY{fi,ii},1);
        for i3 = 1:size_cl(ii)
            TEXT{fi} = [TEXT{fi}; clas_TEXT{ii}];
        end
        ToBoxPlot{fi} = [ToBoxPlot{fi}; ToBoxY{fi,ii}];
    end
end
% figure(fi);
% % subplot(3,3,2)
if Nf<=3
    subplot(1,3,fi)
elseif Nf>3 & Nf<=6
    subplot(2,3,fi)
elseif Nf>6 & Nf<=9
    subplot(3,3,fi)
else
    subplot(3,6,fi)
end
boxplot(ToBoxPlot{fi},TEXT{fi},'symbol','');
ylabel(Feat_Label(feat(fi)), 'FontSize',10);
grid on;
hold on;
end

if size(feat,2)<2
    fname = ['BoxPlots__' f_xor '_' cell2mat(Feat_Label(feat))]
else
    fname = ['BoxPlots__' f_xor '_' num2str(fi)]
end
[IDZ,Z]=rankfeatures(Super,'y','Criterion','wilcoxon','CCWeighting',.5,'NumberOfIndices',size(Super,2));
TOSO = 4;
FeatNames(IDZ(1:TOSO))
SuperClass = [Super(:,IDZ(1:TOSO)) y];
print('-dtiff','-r300',fname)

```

Αφού λοιπόν ανέβηκαν τα ROIs από όλες τις κατηγορίες ονομάσαμε τις κατηγορίες παθολογικά και φυσιολογικά. Το περιεχόμενο ανάλογα με τις κατηγορίες που θέλαμε να τρέξουμε άλλαξε δηλαδή στο σημείο του κώδικα <<Pathol = {'BME', 'INJ', 'OST'};>> αφού αλλάζαμε και το περιεχόμενο των load και τις κλάσεις στην αρχή του κώδικα παραπάνω. Όπως επίσης και οι ακολουθίες στο σημείο του κώδικα <<Plane = 2;%1:PD Sag, 2:STIR T2>>. Τιμές 1 ή 2 ανάλογα με την ακολουθία που θέλαμε να τρέχει.

Μία άλλη παράμετρος που αλλάζαμε είναι και το p value απο 0.05 σε 0.01. Η εντολή rank features χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για να χρησιμοποιεί τα πιο ισχυρά χαρακτηριστικά στο app classification learner του MatLab απο τα 4 έως 10 πιο ισχυρά χαρακτηριστικά και άλλαζα κάθε φορά τον αριθμό στο σημείο TOSO = 4; με 5,6,7,8,9,10.

Στη συνέχεια πηγαίναμε στο app στη γραμμή εργαλείων επιλέγαμε το classification learner → new session → from workspace → cross validation on με $k=5$ → Cubic SVM → train

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1]R.L Drake, W.Vogl,2007.*GRAY'S Anatomy for Students*. 2nd edition, chapter.6 pages.469-471, 513-516, 532-542.
- [2]D.J.Hunter, J.Niu, Y.Zhang, M.C Nevitt, L.Xu, L.Lui, W.Yu, P.Aliabadi, T.S Buchanan, D.T Felson, 2005, *Knee height, knee pain, knee osteoarthritis: The Beijing Osteoarthritis Study*, Wiley online library, <http://onlinelibrary.wiley.com/>
- [3]W.Joern, P.Michel, K.U.Schluter-Brust, P.Eysel, Dtsch Arztebl Int, 2010. *The epidemiology, etiology, diagnosis, and treatments of osteoarthritis of the knee*, <https://www.aerzteblatt.de//>
- [4]A.Andrianakos, L.Kontelis, D.Karamitsos, S.Aslanidis, A.Georgountzos, G.Kaziolas, K.Padelidou, E.Vafiadou, P.Dantis, (for the ESORDIG Study Group), 2006, *Prevalence of Symptomatic Knee, Hand and Hip Osteoarthritis in Greece. The ESORDIG Study*. The journal of Rheumatology, Greece, [online] <http://www.elire.gr/>
- [5]D.Dandy, D.Edwards, 2010. *Essential Orthopaedics and Trauma*, 5th edition, pages. 7-11, 24-27, chapter.16 pages. 273-279.
- [6][Online]http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s010039842006000300002&script=sci_arttext&tIng=en
- [7]M.W.Johnson, 2000, *Acute Knee Effusions: A Systematic Approach to Diagnosis*, [online] <http://www.aafp.org/>
- [8]Α.Χατζηπαύλου, Γ.Κοντάκης,2006. Ορθοπαιδική και Τραυματολογία Παθήσεις των οστών και των αρθρώσεων των άκρων. Τόμος Α', Κρήτη: Ιατρικές εκδόσεις Πασχαλίδης. Κεφ.11 σελ.249-254, σελ.293-303.
- [9][online]<https://williamsterett.com/blog-dr-william-sterett/what-is-scpsubchondroplastyprocedure>
- [10]Κ.Σπ.Νικήτα, «Εισαγωγή στα Ιατρικά Απεικονιστικά Συστήματα», Εργαστήριο Βιοϊατρικών προσομοιώσεων και Απεικονιστικής Τεχνολογίας (BIOSIM), Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2013
- [11] Α. Καρατόπης και Ι. Κανδαράκης, «Βιοϊατρική Τεχνολογία και ιατρική Φυσική Απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Αράκυνθος
- [12] Σ. Τουλουμτζή, «Μαγνητική Τομογραφία», Σεμινάριο Φυσικής, 2009
- [13][online]<http://www.i-eidisi.com/2015/09/18/taleporia-asthenon-gia-magnitiki-12-000-mechri-stigmis-tha-perimenoun-gia-mines-ti-sira-tous/>
- [14]DT.Felson, S.McLaughlin, J.Goggins, et al. *Bone marrow edema and its relation to progression of knee osteoarthritis*. *Ann Intern Med* 2003;139(Pt 1):330–336
- [15]FW.Roemer, K.Bohndorf. *Long-term osseous sequelae after acute trauma of the knee joint evaluated by MRI*. *Skeletal Radiol* 2002;31:615–623
- [16]MR Schmid, J Hodler, P Vienne, CA Binkert, M.Zanetti. *Bone marrow abnormalities of foot and ankle: STIR versus T1-weighted contrast-enhanced fat-suppressed spin-echo MR imaging*. *Radiology* 2002;224:463–469
- [17]E.Mayerhoefer, M.Breitenseher, S.Hofmann, N.Aigner, R.Meizer, H.Siedentop, J.Kramer. *Computer-Assisted Quantitative Analysis of Bone Marrow Edema of the Knee: Initial Experience with a New Method*. *AJR Am J Roentgenol*. 2004 Jun;182(6):1399-403
- [18]Li X1, Ma BC, RI Bolbos, R.Stahl, J.Lozano, J.Zuo, K.Lin, TM.Link, M.Safran, S.Majumdar. *Quantitative assessment of bone marrow edema-like lesion and overlying cartilage in knees with osteoarthritis and anterior cruciate ligament tear using MR imaging and spectroscopic imaging at 3 Tesla*. *J Magn Reson Imaging*. 2008 Aug;28(2):453-61. doi: 10.1002/jmri.21437
- [19]R. M. Halarick, K. Shanmugam, I. Dinstein, "Textural features for image classification". *IEEE Trans Sys Man Cyber*, SCM-3, 6, 1973
- [20]U. Raeth, D. Schlaps, B. Loimberg, I. Zuna, A. Lorenz, G. van Kaick, W.J. Lorentz, and B. Kommerell, Diagnostic Accuracy of Computerized B-Scan. *Texture Analysis and Conventional Ultrasonography in diffuse Parenchymal and Malignant Liver Disease*. *J Clin Ultrasound* 13:87-99, 1985
- [21]M.M.Galloway, *Texture Analysis Using Gray-Level Run Lengths, Computer Graphics and Image Processing*, 4, 172 (1975).
- [22]L.Bocchi, G.Coppini, R.De Dominicis and G.Valli, 1997, *Tissue characterization from X-ray images*. *Med Eng Phys*, 19 (4), 336-342
- [23]R.A. Lerski, M.J. Smith, P. Morley, E. Barnett, P.R. Mills, G. Watkinson and R.N.M. MacSween, *Discriminant Analysis of Ultrasonic Texture Data in Diffuse Alcoholic Liver Disease*. *Ultrasonic Imaging* 3:164-172 (1981)
- [24]S.Theodoridis and K.Koutroumbas, *System evaluation, in Pattern Recognition, Academic Press, San Diego*, 141,119,160-161,181-186 1998
- [25]S.Holmes,<http://statweb.stanford.edu/~susan/courses/s141/hononpara.pdf>

- [26]W. Young,<http://forrest.psych.unc.edu/research/vistaframes/help/lecturenotes/lecture09/lec9part4.html>
- [27][on line]<https://www.mathworks.com/help/bioinfo/ref/rankfeatures.html>
- [28]R.Gonzalez and R.Woods. *Digital image processing*. 2nd edition. NY: Addison-Wesley Pub 2002
- [29]N.Ahmed,K.R.Rao,"*Orthogonal transforms for digital signal processing*", *SpringerVerlag*, pp. 224-258, 1975
- [30]R.C.Gonzalez, R.E.Woods,"*Digital Image Processing*", pp. 571-619, 1992
- [31]http://research.cs.tamu.edu/prism/lectures/pr/pr_111.pdf via the INTERNET Accessed : 11/2013
- [32]S.J.Keenan, J.Diamond, WG.Mc.Cluggage, H.Bharucha, D.Thompson, PH.Bartels, PW.Hamilton. *An automated machine vision system for the histological grading of cervical intraepithelial neoplasia (CIN)*. *J Pathol* 2000;192(3):351–62
- [33]Y.Wang, SC.Chang, LW.Wu, ST.Tsai, YN.Sun. *A color-based approach for automated segmentation in tumor tissue classification*. In: *Proceedings of the Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 2007. p.6577–80
- [34]EG.Soaes, J.Barrera, JC.Felipe. *Method to support diagnosis of cer-vical intraepithelial neoplasia (CIN) based on structural analysis of histological images*. In: *Proceedings of the 25th International Symposium on Computer Based Medical Systems (CBMS)*. 2012. p. 1–6
- [35]JVD.Marel, WGV.Quint, M.Schiffman, MM.Van-De-Sandt, RE.Zuna, S.T.Dunn, K.Smith, CA.Mathews, MA.Gold, J.Walker, N.Benzenes. *Molecular mapping of high-grade cervical intraepithelial neoplasia shows etiological dominance of HPV16*. *Int J Cancer* 2012;131:E946–53
- [36]D.Soumya, R.Joe Stanleya, C.Lua, R.Longb, S.Antanib, G.Thomab, R.Zuna. *A fusion-based approach for uterine cervical cancer histology image classification*. Department of Electrical and Computer Engineering, Missouri University of Science and Technology, Rolla, USA, Lister Hill National Center for Biomedical Communications, National Library of Medicine, National Institutes of Health, DHHS, Bethesda, USA Department of Pathology, University of Oklahoma Health Sciences Center, Oklahoma City, USA, August 2013
- [37] K-R Müller, S. Mika, G. Ratsch, K. Tsuda and B. Schölkopf, "An Introduction to Kernel-Based Learning Algorithms", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 12 (2), 2001