



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ανάπτυξη διαδικτυακής εφαρμογής με χρήση τεχνολογιών σημασιολογικού ιστού για την καρωτιδική αθηρωμάτωση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΖΑΧΑΡΙΑ Π. ΖΑΧΑΡΟΔΗΜΟΥ

Επιβλέπουσα: Κωνσταντίνα Σ. Νικήτα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ανάπτυξη διαδικτυακής εφαρμογής με χρήση τεχνολογιών σημασιολογικού ιστού για την καρωτιδική αθηρωμάτωση

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΖΑΧΑΡΙΑ Π. ΖΑΧΑΡΟΔΗΜΟΥ

Επιβλέπουσα: Κωνσταντίνα Σ. Νικήτα

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 22 Ιουνίου, 2016.

.....
Κωνσταντίνα Νικήτα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

.....
Γεώργιος Στάμου
Επικουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π
Αθήνα, Ιούνιος 2016

.....
Ανδρέας-Γεώργιος Σταφυλοπάτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Ζαχαρίας Π. Ζαχαροδήμος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright Ζαχαρίας Π. Ζαχαροδήμος

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η καρωτιδική αθηρωμάτωση είναι μια πολυπαραγοντική ασθένεια η οποία πλήττει τις σύγχρονες βιομηχανικές κοινωνίες. Κατά την αθηροσκλήρωση αναπτύσσονται στην εσωτερική επιφάνεια του αρτηριακού τοιχώματος βλάβες οι οποίες ονομάζονται αθηροσκληρωτικές πλάκες. Η κλινική διάγνωση της ασθένειας βασίζεται στην εκτίμηση πληθώρας κλινικών δεδομένων όπως απεικονιστικές και βιοχημικές εξετάσεις καθώς και το κλινικό ιστορικό των ασθενών. Η έλλειψη διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων υγείας καθιστά δυσχερέστερη τη διάγνωση της ασθένειας καθώς οι θεράποντες ιατροί δεν έχουν πρόσβαση σε όλα τα απαραίτητα δεδομένα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε μια αρχιτεκτονική συστήματος η οποία βασίζεται σε τεχνολογίες σημασιολογικού ιστού και έχει ως σκοπό την υλοποίηση ενός διαδικτυακού συστήματος παρακολούθησης της καρωτιδικής αθηρωμάτωσης. Μέσω του σχεδιασμού και της υλοποίησης του συστήματος αυτού επιτυγχάνεται η συγκέντρωση όλων των ετερογενών δεδομένων σε μια ενοποιημένη δομή μέσω μιας οντολογίας, δημιουργώντας έτσι μια κοινή διαδικτυακή διεπαφή διαχείρισης δεδομένων η οποία προάγει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των πληροφοριακών συστημάτων υγείας.

Η αρχιτεκτονική του συστήματος αποτελείται από δύο κύρια μέρη:

1. Μια οντολογία που περιγράφει την ασθένεια της καρωτιδικής αθηρωμάτωσης, η οποία χρησιμοποιείται ως το κοινό επίπεδο αποθήκευσης δεδομένων ενσωματώνοντας τα ετερογενή δεδομένα σε μορφή σημασιολογικής αναπαράστασης.
2. Μια διαδικτυακή διεπαφή, η οποία χρησιμοποιείται για να μορφοποιήσει τα δεδομένα και αποτελεί μια μοναδική διεπαφή που θα είναι σε θέση να προσεγγιστεί από διαφορετικά πληροφοριακά συστήματα υγείας με σκοπό την αποθήκευση, αναζήτηση και ανάκληση πληροφορίας από ετερογενείς πηγές δεδομένων.

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε χρησιμοποιεί ως γλώσσα αναζήτησης πληροφορίας στην οντολογία τη SPARQL καθώς και το Apache Jena Framework για την πρόσβαση στα αποθηκευμένα δεδομένα των ασθενών. Επιπλέον, παρέχει οπτική αναπαράσταση των δεδομένων με τη μορφή γραφημάτων που συμβάλλει στη βελτίωση της διαχείρισής τους.

Τέλος το σύστημα ελέγχθηκε βάσει ενός συνόλου δεδομένων του Αττικού Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Αθηνών, το οποίο περιέχει απεικονιστικές εξετάσεις και το κλινικό προφίλ 233 ασθενών, χρησιμοποιώντας ένα σύνολο πολύπλοκων ερωτημάτων. Η απόδοση του συστήματος εκτιμήθηκε βάσει της πολυπλοκότητας των ερωτημάτων και της ταχύτητας ανάκτησης των δεδομένων.

Λέξεις κλειδιά:

Αθηροσκλήρωση στις καρωτίδες, Δικτυακή εφαρμογή, Σημασιολογικός Ιστός, OWL 2 Lite, SPARQL, Οντολογία, Συστήματα Κλινικών Αποφάσεων.

Abstract

Carotid atherosclerosis is a multifactorial disease that afflicts modern industrial societies. Atherosclerosis causes the creation of lesions in the inner surface of the arterial wall which are called atherosclerotic plaques. The clinical diagnosis of the disease is based on the evaluation of a plethora of clinical data such as imaging exams, biochemical tests and patient's clinical history. The lack of interoperability between the different Health Information Systems (HIS) complicates significantly the diagnostic process due to the inability of physicians to acquire all the necessary medical data. To address related challenges, within the framework of the present diploma thesis a semantic-based architecture is used for developing a web based monitoring system for carotid atherosclerosis that is able to gather all the heterogeneous data in a unified representation structure with the use of an ontology and to create a common web interface for data management enhancing the interoperability of HIS.

The system architecture consists of two main pillars:

1. An application ontology of carotid atherosclerosis that is used as the common data layer that integrates the heterogeneous data sources on the basis of semantic representation and ontological reasoning.
2. A web based interface that is used to formalize the data and create a unified interface that is able to be accessed from different HIS, in order to store, query and retrieve information from heterogeneous data sources.

The developed web application uses SPARQL query rewriting and ontology-based data access services, such as Apache Jena Framework, for accessing patient information. Moreover, it provides tools for data visualization through pie charts, using state of the art web technologies, thus resulting into significant improvement in data sources management.

The system architecture was tested using a set of complex queries constructed by the physicians, over a carotid atherosclerosis dataset from the Department of Vascular Surgery, School of Medicine, University of Athens (Attikon Hospital). The dataset consisted of the imaging exams and the clinical profile of 233 patients, while the performance of the system was evaluated in terms of queries complexity and retrieval speed.

Keywords:

Carotid atherosclerosis, Web application, Semantic Web, OWL 2 Lite, SPARQL, Ontology, Clinical Decision Support Systems, Computer Aided Diagnosis, Health Information Systems.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016 στον Τομέα Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου, κα Κωνσταντίνα Νικήτα για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της διπλωματικής αυτής, δίνοντάς μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα. Η καθοδήγησή της κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας με βοήθησε σημαντικά.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου και τον καθένα ξεχωριστά για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε μαζί όλα αυτά τα χρόνια καθώς με βοήθησαν να εξελιχτώ σαν άνθρωπος και να αναζητώ πάντα το καλύτερο για μένα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υποστήριξή της σε κάθε μου βήμα και προσπάθεια όλα αυτά τα χρόνια.

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Σύγκριση φυσιολογικής αρτηρίας με αρτηρία που εμφανίζει αθηροσκληρωτική πλάκα.	2
Εικόνα 2: Αναπαράσταση διασύνδεσης ενός ΠΣΥ συστήματος με τα επιμέρους στοιχεία του.....	6
Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική συστημάτων ΣΥΚΑ.....	9
Εικόνα 4: Δομικά στοιχεία ενός τυπικού ΣΥΚΑ συστήματος.....	10
Εικόνα 5: Τυπική αναπαράσταση γνώσης σε RDF triple.....	11
Εικόνα 6: Παράδειγμα χρήσης SR για αυτοματοποιημένη επισήμανση με χρήση τεχνικών εξόρυξης κειμένου.....	12
Εικόνα 7: Παράδειγμα αναπαράστασης OWL γνώσης.....	13
Εικόνα 8: Ανατομικό δέντρο του χεριού στην FMA.....	15
Εικόνα 9: Το κομματιού του εγκεφάλου στην ιεραρχία της SNOMED.....	17
Εικόνα 10: Ιεραρχική θέση του περιγραφητή «Διαταραχή Συμπεριφοράς» στην οντολογία της MeSH.....	18
Εικόνα 11: Παράδειγμα χρήσης της OWL για την αναπαράσταση της έννοιας του θείου.....	20
Εικόνα 12: Αναπαράσταση των βασικών κλάσεων της οντολογίας.....	24
Εικόνα 13: Απεικόνιση των αρτηριών που καταλήγουν στον αυχένα και το κεφάλι.....	25
Εικόνα 14: Προβολή υπο-κλάσεων της κλάσης Artery.....	26
Εικόνα 15: Προβολή υπο-κλάσεων της κλάσης ClinicalProfile.....	27
Εικόνα 16: Προβολή υπο-κλάσεων της κλάσης Patient.....	29
Εικόνα 17: Προβολή υπο-κλάσεων της κλάσης PlaqueCharacteristics.....	31
Εικόνα 18: Αρχιτεκτονική συστήματος.....	36
Εικόνα 19: MVC αρχιτεκτονική χρησιμοποιώντας τη γλώσσα JSP.....	37
Εικόνα 20: Βασικές κλάσεις οντολογίας.....	37
Εικόνα 21: Σύνδεση στο Fuseki server για την εκτέλεση SPARQL ερωτήματος μέσω του Jena framework.....	39
Εικόνα 22: Διαθέσιμες υπηρεσίες του Fuseki server.....	40
Εικόνα 23: Επιλογή και ανέβασμα του owl αρχείου της οντολογίας στο Fuseki.....	42
Εικόνα 24: Προσθήκη του *.war αρχείου στον υπό φάκελο webapps του Apache Tomcat.....	43
Εικόνα 25: Παρουσίαση του Home tab της εφαρμογής.....	45
Εικόνα 26: Παρουσίαση του Insert tab της εφαρμογής.....	45
Εικόνα 27: Παρουσίαση του Search tab της εφαρμογής.....	46
Εικόνα 28: Παρουσίαση του Statistics tab της εφαρμογής.....	46
Εικόνα 29: Παρουσίαση του About tab της εφαρμογής.....	47
Εικόνα 30: Παρουσίαση του γενικού χάρτη της εφαρμογής.....	48
Εικόνα 31: Παρουσίαση του γενικού διαγράμματος ροής της εφαρμογής.....	49
Εικόνα 32: Παρουσίαση διαγράμματος ροής της διαδικασίας εισαγωγής νέου ασθενή.....	50
Εικόνα 33: Μήνυμα λάθους σε περίπτωση που κάποιο πεδίο έχει αφεθεί κενό.....	51
Εικόνα 34: Μήνυμα λάθους σε περίπτωση που δεν έχει δοθεί έγκυρη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.....	51
Εικόνα 35: Οθόνη επιλογής ιατρικής εικόνας για ανέβασμα.....	52

Εικόνα 36: Διαδικασία αποστολής και αποθήκευσης της ιατρικής εικόνας στο server του συστήματος.....	53
Εικόνα 37: Συμπλήρωση ανατομικών κριτηρίων του ασθενή.....	54
Εικόνα 38: Συμπλήρωση κλινικών κριτηρίων του ασθενή.....	55
Εικόνα 39: Συμπλήρωση χαρακτηριστικών πλάκας και συμπτωμάτων του ασθενή.....	56
Εικόνα 40: Έλεγχος συμπλήρωσης όλων των απαραίτητων πεδίων.....	57
Εικόνα 41: Οθόνη προεπισκόπησης των πεδίων που έχει συμπληρώσει ο χρήστης.....	57
Εικόνα 42: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας αναζήτησης.....	59
Εικόνα 43: Επιλογή κριτηρίων αναζήτησης από το χρήστη. Στη συγκεκριμένη εικόνα φαίνεται η διαδικασία αναζήτησης όλων των ασθενών που έχουν αρτηριακή πλάκα τύπου 2.....	60
Εικόνα 44: Εμφάνιση αποτελεσμάτων αναζήτησης.....	60
Εικόνα 45: Οθόνη παρουσίασης του ολοκληρωμένου ιατρικού προφίλ του ασθενούς στην εφαρμογή.....	62
Εικόνα 46: Ποσοστιαία διαβάθμιση συμπτωματικών ασθενών στο σύστημα σε σχέση με το βαθμό στένωσης που παρουσιάζουν.....	63
Εικόνα 47: Λήψη και αποθήκευση γραφήματος σε μορφή PNG, JPEG, PDF, SVG.....	63
Εικόνα 48: Παρουσίαση του βαθμού επικινδυνότητας της πλάκας ενός ασθενή.....	66
Εικόνα 49: Ιεραρχία κλάσεων του HighRiskPatient στην οντολογία του συστήματος.....	66
Εικόνα 50: Γραφική αναπαράσταση της ιεραρχίας κλάσεων του HighRiskPatient στην οντολογία του συστήματος.....	67
Εικόνα 51: Τεχνικά χαρακτηριστικά υπολογιστικού συστήματος.....	68

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1: Βασικά δομικά χαρακτηριστικά της OWL-Lite.....	22
Πίνακας 2: Ισοδύναμες κλάσεις των υπο-κλάσεων της κλάσης Patient.....	30
Πίνακας 3: Ιδιότητες αντικειμένου οντολογίας.....	32
Πίνακας 4: Ιδιότητες δεδομένων οντολογίας.....	33

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	1
1.1 Αθηροσκλήρωση.....	1
1.1.1 Βασικά αίτια αθηροσκλήρωσης.....	2
1.1.1.1 Ο ρόλος της χοληστερόλης και των λιποπρωτεϊνών.....	2
1.1.1.2 Το σύστημα των λιποπρωτεϊνών ρυθμίζει την εναπόθεση της χοληστερόλης στους ιστούς του αίματος.....	3
1.1.1.3 Ρύθμιση της χοληστερόλης μέσα στα κύτταρα.....	3
1.1.1.4 Ρύθμιση της σύνθεσης χοληστερόλης από το ήπαρ.....	3
1.1.2 Άλλοι παράγοντες που προκαλούν αθηροσκλήρωση.....	4
1.1.3 Προστασία από την αθηροσκλήρωση.....	4
1.2 Ιατρικά Πληροφοριακά Συστήματα.....	5
1.2.1 Πληροφοριακά Συστήματα Υγείας.....	5
1.2.2 Υπολογιστικά Συστήματα Υποστήριξης Διάγνωσης.....	7
1.2.3 Συστήματα Υποστήριξης Κλινικών Αποφάσεων.....	8
1.3 Αποθετήρια σημασιολογικού ιστού.....	10
1.3.1 Ορισμός των αποθετηρίων σημασιολογικού ιστού.....	10
1.3.2 Χαρακτηριστικές γλώσσες αναπαράστασης γνώσης σημασιολογικού ιστού.....	11
1.3.2.1 Resource Description Framework-RDF.....	11
1.3.2.2 Ontology Web Language-OWL.....	12
1.4 Κυριότερες ιατρικές οντολογίες.....	13
1.4.1 FMA.....	14
1.4.2 RADLEX (Standard Radiology Lexicon).....	14
1.4.3 ICD -10.....	15
1.4.4 SNOMED CT.....	16
1.4.5 MeSH.....	17
Κεφάλαιο 2: Οντολογία για την αναπαράσταση της καρωτιδικής αθηροσκλήρωσης.....	19
2.1 Εισαγωγή στο σημασιολογικό ιστό.....	19
2.2 Εισαγωγή στην OWL-Lite.....	20
2.2.1 Σύνοψη των δομικών στοιχείων της OWL Lite.....	21
2.2.2 Βασικές ιδιότητες της OWL Lite.....	22
2.2.2.1 Κύρια χαρακτηριστικά της OWL-RDFS.....	22
2.2.2.2 Χαρακτηριστικά ισότητας – ανισότητας της OWL Lite.....	22
2.2.2.3 Χαρακτηριστικές ιδιότητες της OWL Lite.....	23

2.2.2.4 OWL Lite χαρακτηριστικά περιορισμού ιδιοτήτων.....	23
2.3 Δομή της οντολογίας.....	23
2.3.1 Βασικές κλάσεις της οντολογίας.....	23
2.3.2 Ιδιότητες αντικειμένων της οντολογίας.....	31
2.3.3 Ιδιότητες δεδομένων της οντολογίας.....	32
Κεφάλαιο 3: Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	35
3.1 Αρχιτεκτονική Client-Server.....	35
3.2 Οντολογία εφαρμογής.....	36
3.3 Σχεδιασμός και υλοποίηση του συστήματος.....	38
3.4 Διάρθρωση του συστήματος.....	40
3.4.1 Διάρθρωση του Apache Jena Fuseki SPARQL Server.....	40
3.4.2 Διάρθρωση του Apache tomcat και εκκίνηση της εφαρμογής.....	43
Κεφάλαιο 4: Διαδικτυακή εφαρμογή για την εισαγωγή και ανάκτηση εγγραφών από την οντολογία της καρωτίδας.....	45
4.1 Γενική παρουσίαση της εφαρμογής.....	45
4.2 Σενάρια χρήσης της εφαρμογής.....	47
4.2.1 Εισαγωγή νέου ασθενή.....	47
4.2.1.1 Υλοποίηση της διαδικασίας εισαγωγής.....	47
4.2.1.2 Εισαγωγή προσωπικών πληροφοριών–Ανέβασμα ιατρικής εικόνας.....	51
4.2.1.3 Εισαγωγή ιατρικών στοιχείων του ασθενή.....	52
4.2.2 Αναζήτηση ασθενών βάσει κριτηρίων στο σύστημα.....	56
4.2.2.1 Επιλογή κριτηρίων αναζήτησης.....	58
4.2.2.2 Εμφάνιση αποτελεσμάτων αναζήτησης.....	58
4.2.2.3 Προφίλ ασθενών.....	61
4.2.3 Παρουσίαση στατιστικών γραφημάτων.....	61
Κεφάλαιο 5: Μέτρηση απόδοσης του συστήματος.....	65
5.1 Σύνολο δεδομένων των ασθενών.....	65
5.2 Ορισμός ασθενή υψηλού κινδύνου.....	65
5.3 Εκτέλεση πολύπλοκων ερωτημάτων–Χρόνοι Απόκρισης.....	67
5.3.1 Απαιτήσεις Χρηστών.....	67
5.3.2 Παραδείγματα ερωτημάτων-Μέτρηση χρόνου απόκρισης.....	68
Κεφάλαιο 6: Επίλογος.....	69
6.1 Συμπεράσματα.....	69
6.2 Επεκτάσεις συστήματος.....	70
Βιβλιογραφία.....	71

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη μιας διαδικτυακής εφαρμογής η οποία δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής και ανάκτησης ασθενών από ιατρική βάση γνώσης της οποίας το κύριο στοιχείο αποτελεί η οντολογία της καρωτιδικής αθηροσκλήρωσης. Οι κύριοι στόχοι του συστήματος είναι:

- Η ανάπτυξη ενός διαδικτυακού συστήματος για την αποθήκευση και εξειδικευμένη αναζήτηση ασθενών που σχετίζονται με την ασθένεια της αθηροσκλήρωσης με χρήση τεχνολογιών σημασιολογικού ιστού.
- Η ανάπτυξη μιας οντολογίας η οποία θα μπορέσει να μοντελοποιήσει την αθηροσκλήρωση με τον πιο ακριβή τρόπο ενώ παράλληλα θα είναι σε θέση να εξαγάγει γνώση σχετικά με το βαθμό επικινδυνότητας του ασθενή βάσει του ιατρικού του προφίλ.
- Χρήση της ιδέας της WAMP αρχιτεκτονικής έτσι ώστε το σύστημα να είναι εύκολα προσαρμόσιμο και επεκτάσιμο με άλλα ήδη υπάρχοντα συστήματα.

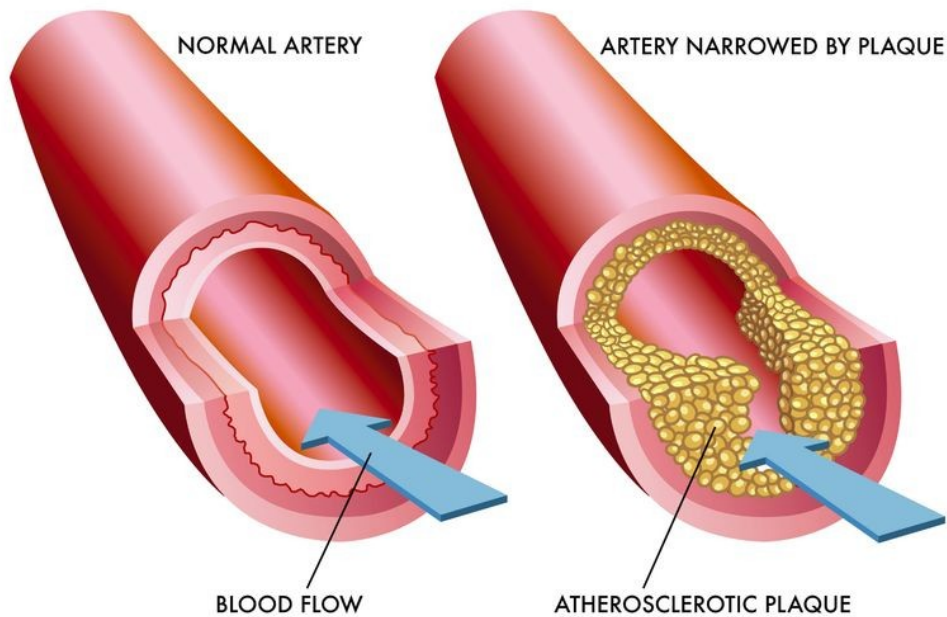
Σε επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά ο τρόπος ανάπτυξης και λειτουργίας της εφαρμογής που αναπτύχθηκε καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αλληλεπιδρά με την οντολογία της καρωτιδικής αθηρωμάτωσης.

1.1 Αθηροσκλήρωση

Η αθηροσκλήρωση αποτελεί μια νόσο των αρτηριών η οποία επικρατεί στις σύγχρονες βιομηχανικές κοινωνίες. Κατά την αθηροσκλήρωση αναπτύσσονται στην εσωτερική επιφάνεια του αρτηριακού τοιχώματος βλάβες οι οποίες ονομάζονται αθηροσκληρωτικές πλάκες [2]. Οι φλέβες δεν αναπτύσσουν αθηροσκληρωτικές εστίες εκτός και αν εκτεθούν σε αρτηριακή ροή και πίεση για εκτεταμένη χρονική περίοδο. Στους κύριους παράγοντες κινδύνου για την εμφάνιση αθηροσκλήρωσης ανήκουν παράγοντες τόσο γενετικού όσο και περιβαλλοντικού χαρακτήρα. Ανάμεσα στις θεωρίες σχετικά με τα πιθανά αίτια εκδήλωσης της ασθένειας αυτής είναι το τραύμα έσω χιτώνα, η αυτοάνοση απόκριση και η λοίμωξη. Ανεξάρτητα από την οποιαδήποτε υποκείμενη παθογένεση, το κομβικό σημείο ενδιαφέροντος είναι ότι η αθηροσκλήρωση είναι μια συστημική ασθένεια η οποία επηρεάζει όλα τα αγγειακά στρώματα. Ασθενείς οι οποίοι παρουσιάζουν περιφερειακές αγγειακές ενδείξεις αθηροσκλήρωσης αποτελούν ασθενείς υψηλού ρίσκου για εμφάνιση ισχαιμικών επεισοδίων.

Οι αθηροσκληρωτικές πλάκες δημιουργούνται ύστερα από εναπόθεση μικροσκοπικών κρυστάλλων χοληστερόλης στον έσω χιτώνα και στο υποκείμενο στρώμα των λείων μυϊκών ινών του τοιχώματος της αρτηρίας [13]. Με την πάροδο του χρόνου οι κρύσταλλοι μεγαλώνουν και συντήκονται μεταξύ τους ώστε να σχηματίσουν ταπητοειδής κρυστάλλους. Επιπλέον ο γειτονικός ινώδης ιστός, καθώς και οι λείες μυϊκές ίνες, πολλαπλασιάζονται για να σχηματίσουν επιπρόσθετα στρώματα για την ακόμα μεγαλύτερη μεγέθυνση των αθηροσκληρωτικών πλακών. Η πλάκα μαζί με τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων καθιστά τη ροή του αίματος δύσκολη έως και αδύνατη [42]. Ακόμα και χωρίς τον πλήρη αποκλεισμό της ροής του αίματος οι ινοβλάστες της πλάκας εναποθέτουν πυκνό συνδετικό ιστό σε τέτοια ποσότητα που προκαλούν σκλήρυνση της αρτηρίας (ίνωση) και επακόλουθη εμφάνιση ακαμψίας και ανενδοτικότητας [30][31][32]. Με την πάροδο του χρόνου εκτός από τη χοληστερόλη και άλλα λιπίδια της πλάκας, καθιζάνουν και άλατα ασβεστίου με αποτέλεσμα οι αρτηρίες να σκληραίνουν σε βαθμό που θα τις παρομοίαζε κανείς με σωλήνες από οστό. Το στάδιο αυτό της νόσου χαρακτηρίζεται ως «σκλήρυνση των αρτηριών» [23][24].

ATHEROSCLEROSIS



Εικόνα 1: Σύγκριση φυσιολογικής αρτηρίας με αρτηρία που εμφανίζει αθηροσκληρωτική πλάκα¹.

Οι αθηροσκληρωτικές αρτηρίες χάνουν τη διατασιμότητά τους και λόγω των εκφυλιστικών αλλοιώσεων που υφίστανται στα τοιχώματά τους οδηγούνται εύκολα σε ρήξη. Στο σημείο επαφής των πλακών με το αίμα, λόγω της μεγάλης τραχύτητάς τους, δημιουργούνται θρόμβοι οι οποίοι μπορούν να αποσπαστούν και να προκαλέσουν απότομη μείωση έως και αναστολή της ροής του αίματος (έμβολα) [44]. Η αρτηριοσκλήρωση αποτελεί την αιτία θανάτου περίπου του 50% των ατόμων τόσο στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής όσο και στην Ευρώπη. Τα δύο τρίτα του ποσοστού αυτού οφείλονται σε θρόμβωση μίας ή περισσότερων στεφανιαίων αρτηριών [22]. Το υπόλοιπο ένα τρίτο προκαλείται είτε από θρόμβωση είτε από αιμορραγία αγγείων σε άλλα όργανα του σώματος—και ιδιαίτερα του εγκεφάλου (εγκεφαλικά επεισόδια), αλλά επίσης και στους νεφρούς, το ήπαρ, το γαστρεντερικό σωλήνα, τα άκρα, κλπ [29].

1.1.1 Βασικά αίτια αθηροσκλήρωσης

1.1.1.1 Ο ρόλος της χοληστερόλης και των λιποπρωτεϊνών

Ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες στους οποίους οφείλεται η εμφάνιση της αθηροσκλήρωσης είναι η υψηλή συγκέντρωση χοληστερόλης του πλάσματος με τη μορφή λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας [17][18]. Η συγκέντρωση στο πλάσμα αυτών των χαμηλής πυκνότητας λιποπρωτεϊνών, οι οποίες εμφανίζουν υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης χοληστερόλης, έχει άμεση συσχέτιση με την καθημερινή διατροφή του ατόμου και μάλιστα η συγκέντρωσή της αυξάνεται αναλογικά με την κατανάλωση κορεσμένων λιπαρών [52]. Επιπλέον, σε μικρότερο όμως βαθμό, αυξάνεται με την πρόσληψη χοληστερόλης μέσω της τροφής. Έτσι οι δύο παραπάνω παράγοντες ή τουλάχιστον ο ένας από αυτούς είναι καθοριστικοί στην πρόκληση αθηροσκλήρωσης.

¹ <https://www.azvascular.com/atherosclerosis/>

1.1.1.2 Το σύστημα των λιποπρωτεϊνών ρυθμίζει την εναπόθεση της χοληστερόλης στους ιστούς του αίματος

Τρεις είναι οι κύριες κατηγορίες λιποπρωτεϊνών οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη ρύθμιση της μεταφοράς της χοληστερόλης στα κύτταρα των ιστών: οι λιποπρωτεΐνες πολύ χαμηλής, ενδιάμεσης και χαμηλής πυκνότητας. Το σύστημα αυτό των πρωτεϊνών συνεργάζεται έτσι ώστε να μεταφέρει τη χοληστερόλη στους ιστούς με τον εξής τρόπο: Αρχικά οι λιποπρωτεΐνες πολύ χαμηλής πυκνότητας είναι αυτές που παράγονται στο ήπαρ και περιέχουν μεγάλα ποσά τριγλυκεριδίων καθώς και μικρότερα ποσά χοληστερόλης και φωσφολιπιδίων. Κατά την κυκλοφορία των λιποπρωτεϊνών αυτών με τη βοήθεια της λιποπρωτεϊνικής λιπάσης υπόκεινται σε υδρολυτική διάσπαση μεγάλου μέρους των τριγλυκεριδίων που περιέχουν, προς παραγωγή γλυκερόλης και λιπαρών οξέων, και εναπόθεσή τους στο λιπώδη ιστό ως νέα τριγλυκερίδια.

Οι νέες αυτές λιποπρωτεΐνες, μετά την απώλεια μεγάλου μέρους των τριγλυκεριδίων που περιείχαν, από πολύ χαμηλής πυκνότητας μετατρέπονται σε λιποπρωτεΐνες ενδιάμεσης πυκνότητας καθώς αυξάνεται η πυκνότητάς τους. Οι νέες λιποπρωτεΐνες ενδιάμεσης πυκνότητας προσελκύονται πάλι πίσω στα ηπατικά κύτταρα εξαιτίας των ηπατικών κυττάρων υποδοχέων προς παραγωγή μιας πρωτεΐνης η οποία ονομάζεται αποπρωτεΐνη Β [38]. Το ήπαρ, υπό φυσιολογικές συνθήκες, απομακρύνει τη μισή περίπου ποσότητα αυτών των λιποπρωτεϊνών ενδιάμεσης πυκνότητας. Οι λιποπρωτεΐνες οι οποίες δεν απομακρύνθηκαν χάνουν σχεδόν όλη την υπολειπόμενη ποσότητα τριγλυκεριδίων ύστερα από περαιτέρω υδρόλυση στα τριχοειδή, με τη βοήθεια της λιποπρωτεϊνικής λιπάσης των τριχοειδών. Έτσι η πυκνότητα των λιποπρωτεϊνών αυξάνεται ακόμα περισσότερο και οι λιποπρωτεΐνες μετατρέπονται τελικά σε λιποπρωτεΐνες χαμηλής πυκνότητας. Το κέντρο αυτής της πρωτεΐνης αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από λιποδιαλυτή εστεροποιημένη χοληστερόλη. Οι ουσίες αυτές φέρουν ηλεκτρικά φορτία τα οποία προσδίδουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο στην επιφάνεια της λιποπρωτεΐνης και εξαιτίας αυτού η λιποπρωτεΐνη έχει τη δυνατότητα διάλυσης στο πλάσμα. Στο ένα μέρος της λιποπρωτεΐνης χαμηλής πυκνότητας κείται ένα μεγάλο μόριο αποπρωτεΐνης Β το οποίο λειτουργεί σαν θέση αναγνώρισης από τους υποδοχείς των λιποπρωτεϊνών που βρίσκονται στην επιφάνεια όλων των κυττάρων του σώματος. Η διαδικασία της σύνδεσης της αποπρωτεΐνης Β με τους υποδοχείς είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά της πρωτεΐνης προς το εσωτερικό των κυττάρων, διαδικασία πινοκύτωσης, όπου στη συνέχεια γίνεται η πέψη και η απελευθέρωση των επί μέρους συστατικών της [34][44]. Με αυτό τον τρόπο επιτελείται η απόδοση χοληστερόλης και φωσφολιπιδίων από τις λιποπρωτεΐνες χαμηλής πυκνότητας σε όλα τα κύτταρα του σώματος.

1.1.1.3 Ρύθμιση της χοληστερόλης μέσα στα κύτταρα

Όταν η συγκέντρωση χοληστερόλης μέσα στο κύτταρο ξεπεράσει ένα όριο και γίνει πολύ μεγάλη τότε παρατηρείται μείωση των υποδοχέων λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας με αποτέλεσμα να μειώνεται η σύνδεση των λιποπρωτεϊνών-υποδοχέων επιφέροντας μείωση της παραγόμενης χοληστερόλης. Με τον τρόπο αυτό το κύτταρο, μέσω αυτού του μηχανισμού, ελέγχει την ενδοκυττάρια συγκέντρωση χοληστερόλης του.

1.1.1.4 Ρύθμιση της σύνθεσης χοληστερόλης από το ήπαρ

Τα ηπατικά κύτταρα, όπως και όλα τα κύτταρα του σώματος, προσλαμβάνουν λιποπρωτεΐνες χαμηλής πυκνότητας ενώ επιπλέον προσλαμβάνουν και τη μισή περίπου ποσότητα λιποπρωτεϊνών ενδιάμεσης πυκνότητας. Έτσι στο ήπαρ, λόγω της συγκέντρωσης αυτών των δύο ειδών λιποπρωτεΐνης, συγκεντρώνεται μεγάλη ποσότητα χοληστερόλης. Τα ηπατικά κύτταρα έχουν ένα εσωτερικό μηχανισμό ο οποίος όταν ανιχνεύεται μεγάλη συγκέντρωση χοληστερόλης, αναστέλλει τη

δημιουργία του ενζύμου το οποίο είναι υπεύθυνο για την παραγωγή χοληστερόλης στο ήπαρ. Έτσι όταν τα κύτταρα δεν χρησιμοποιούν χοληστερόλη, η υπολειπόμενη ποσότητα επιστρέφει στα ηπατικά κύτταρα και αναστέλλεται η επιπλέον παραγωγή της.

1.1.2 Άλλοι παράγοντες που προκαλούν αθηροσκλήρωση

Έχει παρατηρηθεί ότι ακόμη και άτομα τα οποία δεν εμφανίζουν υψηλά επίπεδα χοληστερόλης πάσχουν από αθηροσκλήρωση. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων τα αίτια είναι άγνωστα. Παρόλα αυτά, ειδικοί παράγοντες οι οποίοι προδιαθέτουν για εμφάνιση της νόσου είναι:

- Ο σακχαρώδης διαβήτης.
- Ο υπερθυρεοειδισμός.
- Το κάπνισμα.

Επιπρόσθετα στον άνδρα τόσο κατά τη νεανική όσο και κατά τη μέση ηλικία, η πιθανότητα εμφάνισης αθηροσκλήρωσης είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τη γυναίκα γεγονός που αποτελεί ένδειξη ότι οι γεννητικές ορμόνες του άνδρα είναι πιθανό να έχουν αθηρογενετική επίδραση ή αντίθετα ότι οι γεννητικές ορμόνες της γυναίκας έχουν προστατευτική επίδραση. Ο λόγος για τον οποίο ορισμένοι από αυτούς τους παράγοντες οδηγούν σε πρόκληση αθηροσκλήρωσης είναι η αύξηση της συγκέντρωσης των λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας στο πλάσμα. Παράλληλα άλλοι παράγοντες είναι πιθανό να προκαλέσουν αθηροσκλήρωση με την πρόκληση τοπικών βλαβών στους ιστούς του αγγειακού τοιχώματος, οι οποίες με τη σειρά τους προδιαθέτουν σε εναπόθεση χοληστερόλης [20][25][27][28].

1.1.3 Προστασία από την αθηροσκλήρωση

Ο κυριότερος παράγοντας ενάντια στην πρόκληση αθηροσκλήρωσης είναι η εφαρμογή διαιτολογίου χαμηλής περιεκτικότητας σε λίπη, που να αποτελείται κυρίως από ακόρεστα λίπη και χαμηλά σε χοληστερόλη τρόφιμα [21][38][45]. Παρόλα αυτά υπάρχουν δύο επικρατείς φαρμακευτικές θεραπείες των οποίων τα αποτελέσματα μελετήθηκαν προσφάτως και αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμες:

- Πρώτον, το μεγαλύτερο μέρος της χοληστερόλης που συντίθεται στο ήπαρ μετατρέπεται σε χολικά άλατα και με αυτή τη μορφή εκκρίνεται προς το δωδεκαδάκτυλο. Στη συνέχεια, σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90% τα χολικά αυτά οξέα επανααρροφώνται από το τελικό ειλεό και επαναχρησιμοποιούνται επανειλημμένα στη χολή. Κατά συνέπεια, ο οποιοσδήποτε παράγων που μπορεί να συνδέεται με τα χολικά οξέα μέσα στο γαστρεντερικό σωλήνα και να παρεμποδίζει την επιστροφή τους προς την κυκλοφορία είναι δυνατό να περιορίζει το ολικό απόθεμα των χολικών οξέων στο σύστημα, με αποτέλεσμα τη μετατροπή μεγαλύτερης ποσότητας χοληστερόλης του ήπατος σε χολικά οξέα. Έτσι, η πρόσληψη με την τροφή πίτουρου βρώμης, που αποτελεί συστατικό πολλών σκευασμάτων δημητριακών για πρόγευμα και το οποίο συνδέεται με τα χολικά οξέα, συντελεί στην αύξηση του ποσοστού της χοληστερόλης του ήπατος που χρησιμοποιείται για τη σύνθεση νέων χολικών οξέων, μειώνοντας τη διαθέσιμη ποσότητα που διατίθεται για την παραγωγή νέων λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας [33][46].

- Ένα φάρμακο, η μεβινολίνη (mevinolin) αναστέλλει την αναγωγή του 3- υδροξυ -3- μεθυλογλουταρυλ-CoA, ενζύμου που είναι απαραίτητο για τη σύνθεση χοληστερόλης από το ήπαρ. Κατά συνέπεια, με αυτό το φάρμακο περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό ο ρυθμός σύνθεσης της χοληστερόλης, σε μερικές δε περιπτώσεις το επίπεδο των λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας του πλάσματος ελαττώνεται κατά 25% έως και 45% [33].

Μια γενική παρατήρηση είναι ότι για κάθε 1 mg/100 ml ελάττωσης της χοληστερόλης των λιποπρωτεϊνών χαμηλής πυκνότητας του πλάσματος παρουσιάζεται μείωση περίπου 2% της θνησιμότητας από αθηροσκλήρωση της καρδιάς. Για το λόγο αυτό η εφαρμογή προληπτικών μέτρων μπορεί να αποβεί εξαιρετικά πολύτιμη για τη μείωση της συχνότητας των καρδιακών προσβολών [33][35][36].

1.2 Ιατρικά Πληροφοριακά Συστήματα

1.2.1 Πληροφοριακά Συστήματα Υγείας

Το Πληροφοριακό Σύστημα Υγείας(ΠΣΥ) είναι ένα σύστημα το οποίο συνδυάζει ιατρικά στατιστικά από διάφορες πηγές προκειμένου να εξάγει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση υγείας, την ιατρική φροντίδα καθώς και την παροχή και χρήση υπηρεσιών υγείας των ανθρώπων μιας συγκεκριμένης περιοχής [8]. Θέτοντας ως κεντικό άξονα ενδιαφέροντός του τον άνθρωπο και τις ανάγκες του για ιατρική περίθαλψη, το σύστημα ΠΣΥ παρέχει υπηρεσίες υγείας υψηλής ποιότητας ακολουθώντας μια ασθενοκεντρική προσέγγιση [7].

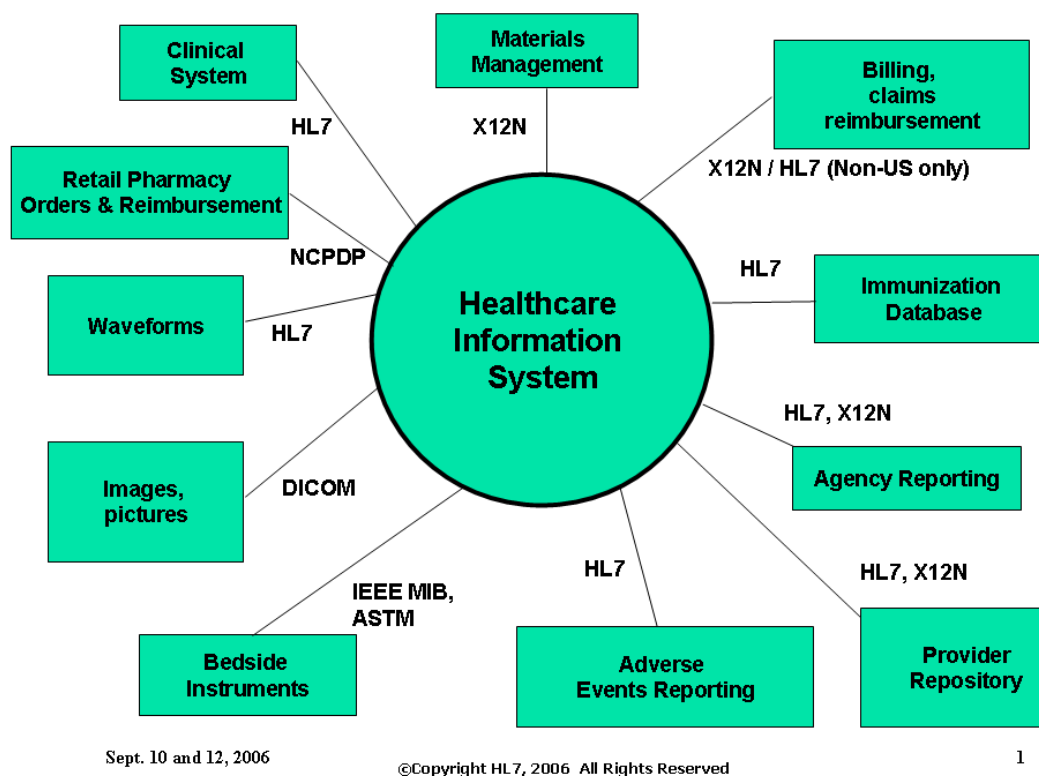
Ένα σύστημα ΠΣΥ θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αποδοτικό εφόσον παρέχει τη δυνατότητα πρόσβασης σε όλα τα απαιτούμενα δεδομένα προκειμένου να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά τόσο με τη διάγνωση όσο και με τη θεραπεία και την περίθαλψη του ασθενούς. Η αδυναμία πρόσβασης στις κατάλληλες πηγές πληροφόρησης μπορεί να οδηγήσουν το σύστημα στην εξαγωγή αποτελεσμάτων τα οποία θα μπορούσαν να αποβούν ακόμα και θανάσιμα για έναν ασθενή [7].

Η εξέλιξη των συστημάτων ΠΣΥ ανάγεται σε μερικές βασικές αλλαγές στον τομέα της ιατρικής περίθαλψης και υγείας γενικότερα.

Η πρώτη σημαντική αλλαγή είναι η μετάβαση από την αποθήκευση πληροφορίας σε γραπτή μορφή στην ηλεκτρονική αποθήκευση πληροφορίας [7]. Η μετάβαση αυτή είχε σαν μειονέκτημα κυρίως την πολυπλοκότητα της διαδικασίας αποτύπωσης της υπάρχουσας γνώσης των γραπτών κειμένων σε ηλεκτρονικά έγγραφα. Από την άλλη όμως απέφερε πολλά πλεονεκτήματα τόσο στη διαχείριση όσο και στην αξιοποίηση της γνώσης που καταγράφηκε. Βάσει της ηλεκτρονικής μορφής των εγγράφων μπόρεσαν να αναπτυχθούν εργαλεία τα οποία είχαν τη δυνατότητα να αναζητήσουν πληροφορίες εύκολα και γρήγορα ανάμεσα σε ένα τεράστιο όγκο δεδομένων και να τις επεξεργαστούν κατάλληλα προς ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων. Ωστόσο, η ραγδαία αύξηση της πληροφορίας δεν ακολουθήθηκε από ανάλογη αύξηση του ποσοστού των ειδικών υγείας με αποτέλεσμα τη διαχείριση μεγαλύτερου πλήθους δεδομένων σε ατομικό επίπεδο.

Επιπρόσθετα μια άλλη αλλαγή είναι η μετάβαση από τοπικά σε παγκόσμια συστήματα πληροφόρησης [7]. Η ανάπτυξη συστημάτων ΠΣΥ, μέχρι και πριν λίγες δεκαετίες, ήταν περισσότερο εστιασμένη στη διαχείριση πληροφορίας σε τοπικό επίπεδο όπως ένα τμήμα ενός νοσοκομείου. Με την πάροδο του χρόνου άρχισε να διευρύνεται η εφαρμογή των συστημάτων αυτών στο επίπεδο ενός ολόκληρου νοσοκομείου. Με την αλλαγή αυτή, η πληροφορία μπορούσε εύκολα να κατανεμηθεί στα διάφορα τμήματα του νοσοκομείου καθώς και να διαμοιραστεί και να συνδυαστεί προκειμένου να εξαχθεί ένα πιο ολοκληρωμένο και αναλυτικό αποτέλεσμα. Η μετάβαση από τη χρήση ενός συστήματος ΠΣΥ από ένα τμήμα ενός νοσοκομείου σε ένα ολόκληρο νοσοκομείο έβαλε τα θεμέλια για την ανάπτυξη των ΠΣΥ συστημάτων ως «ασθενο-κεντρικών» συστημάτων. Σήμερα τα ΠΣΥ συστήματα έχουν επεκταθεί ακόμα περισσότερο, ενώ πλέον γίνεται λόγος για συστήματα διαχείρισης

ιατρικής πληροφορίας σε τομείς υγείας. Η επέκταση αυτή συνάδει απόλυτα με τον αρχικό στόχο περί «ασθενο-κεντρικού» συστήματος και διευρύνει ακόμα περισσότερο το φάσμα δυνατοτήτων του. Η νέα αυτή προοπτική συντελεί στη βελτίωση της ποιότητας της περίθαλψης καθώς δίνεται η δυνατότητα να συνδυαστούν στατιστικά στοιχεία και γνώση από πολλά διαφορετικά μέτωπα οδηγώντας σε μία ολοκληρωμένη παροχή ιατρικής περίθαλψης.



Εικόνα 2: Αναπαράσταση διασύνδεσης ενός ΠΣΥ συστήματος με τα επιμέρους στοιχεία του².

Επιπλέον τα ΠΣΥ συστήματα αρχίζουν να αναφέρονται πια κατευθείαν στον ασθενή. Άρχισαν με την προοπτική της βελτίωσης της παροχής υγείας που προσφέρεται από τους ειδικούς υγείας και κατέληξαν να συνεισφέρουν στη βελτίωση του τρόπου ζωής και περίθαλψης του ασθενή σε προσωπικό επίπεδο. Ολοένα και περισσότερες εφαρμογές δημιουργούνται σήμερα οι οποίες αποτελούν «συμβούλους» υγείας για τον άνθρωπο καθώς δίνουν τη δυνατότητα της άμεσης επαφής του ανθρώπου με το πρόβλημά του ενώ παράλληλα του δίνουν την αίσθηση ασφάλειας μέσα από τη διαλεύκανση των αποριών του. Ο τομέας που έχει αναπτυχθεί βάσει της προσέγγισης αυτής είναι τα συστήματα απομακρυσμένης φροντίδας.

Μερικές ακόμα αλλαγές που έχουν διαμορφώσει τα σύγχρονα συστήματα ΠΣΥ είναι η χρήση όλης της πληροφορίας που χρησιμοποιούταν για την καλύτερη παροχή φροντίδας και για ερευνητικούς σκοπούς, η ενσωμάτωση νέων δομών δεδομένων οι οποίες θα συνεισφέρουν στην αποτελεσματικότερη επεξεργασία της γνώσης καθώς και εκμετάλλευση των νέων τεχνολογιών που αναπτύσσονται έτσι ώστε να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα και απόδοση των συστημάτων ΠΣΥ.

² http://wiki.hl7.org/index.php?title=File:Healthcare_Information_System_Standards_Usage.png

1.2.2 Υπολογιστικά Συστήματα Υποστήριξης Διάγνωσης

Το Υπολογιστικό Σύστημα Υποστήριξης Διάγνωσης(ΥΣΥΔ) είναι ένα από τα κύρια ερευνητικά θέματα των τελευταίων χρόνων στους τομείς της ιατρικής απεικόνισης και της διαγνωστικής ακτινολογίας. Τα ΥΣΥΔ είναι συστήματα στην ιατρική τα οποία βοηθούν τους ιατρούς στην ερμηνεία των ιατρικών εικόνων [28][51]. Οι τεχνικές απεικόνισης σε ακτινογραφίες, MRI και υπερηχογραφήματα ασχολούνται με σημαντική ποσότητα πληροφορίας την οποία οι ακτινολόγοι πρέπει να αναλύσουν και να κατανοήσουν σε σύντομο χρονικό διάστημα [43]. Τα συστήματα ΥΣΥΔ βοηθάνε στην ανάλυση των εικόνων αυτών και τον εντοπισμό των τμημάτων τους τα οποία παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα απεικόνισης κάποιας ασθένειας [4]. Τα συστήματα ΥΣΥΔ έχουν αρχίσει να αποτελούν πια μέρος της κλινικής εξέτασης για τη διάγνωση διαφόρων ασθενειών όπως για παράδειγμα στην ανίχνευση του καρκίνου του μαστού στις μαστογραφίες. Πολλά από τα νοσοκομεία των ΗΠΑ χρησιμοποιούν συστήματα ΥΣΥΔ γεγονός που υποδεικνύει ότι τα συστήματα αυτά έχουν συνδεθεί άρρηκτα με την ανίχνευση και τη διαφορική διάγνωση διαφόρων ανωμαλιών σε ιατρικές εικόνες οι οποίες έχουν παρθεί από διαφορετικές εξετάσεις και με χρήση διαφορετικών απεικονιστικών λεπτομερειών [6].

Οι πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης πλήρους ανάλυσης ιατρικής εικόνας από υπολογιστή ήταν το 1960 αν και η συστηματική έρευνα πάνω στα συστήματα ΥΣΥΔ άρχισε το 1980 καθώς σημειώθηκε μια σημαντική αλλαγή στην έννοια χρήσης των αποτελεσμάτων του υπολογιστή, μεταβαίνοντας από συστήματα αυτοματοποιημένης διάγνωσης στα συστήματα ΥΣΥΔ [14]. Οι πρώτες μελέτες πάνω στην ανάπτυξη συστημάτων αυτοματοποιημένης γνώσης εμφανίζονται το 1960. Την περίοδο εκείνη επικρατούσε η αντίληψη ότι ο υπολογιστής μπορεί να αντικαταστήσει τον ακτινολόγο στην ανίχνευση διαφόρων ανωμαλιών αφού, όπως υποστηριζόταν, ο υπολογιστής υπερτερούσε του ανθρώπου στην επιτέλεση συγκεκριμένων διαδικασιών [5]. Παρόλα αυτά, τα πρώτα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά γεγονός που αποδόθηκε στη μη ικανή υπολογιστική δύναμη που ήταν διαθέσιμη τότε, στην πρώιμη ανάπτυξη τεχνικών επεξεργασίας εικόνας καθώς και στη δύσκολη πρόσβαση σε ψηφιακές εικόνες. Οι προσδοκίες χρήσης των υπολογιστών στη διαδικασία της διάγνωσης παρέμειναν υψηλές μέχρι το 1980 όπου ήρθε στο προσκήνιο μία διαφορετική τοποθέτηση σχετικά με τη χρήση των συστημάτων αυτών. Η διαφορετική γνώμη ήταν ότι τα αυτοματοποιημένα συστήματα δεν θα πρέπει να στοχεύουν στην αντικατάσταση των ακτινολόγων αλλά στην παροχή βοήθειας για τη βελτιστοποίηση και την ακρίβεια της διαδικασίας της διάγνωσης. Με τη νέα αυτή προοπτική αναπτύχθηκε η έννοια των συστημάτων ΥΣΥΔ. Στις πρώτες προσπάθειες ανάπτυξης των συστημάτων αυτών εκδηλώθηκε μεγάλος αρνητισμός σχετικά με την πιθανότητα επιτυχούς λειτουργίας τους. Οι έντονες αντιδράσεις αυτές προήλθαν κυρίως από τη σύγχυση των ΥΣΥΔ συστημάτων με τα συστήματα αυτοματοποιημένης διάγνωσης και τα ανεπιτυχή αποτελέσματα των τελευταίων.

Η κύρια διαφορά των συστημάτων ΥΣΥΔ σε σχέση με τα συστήματα αυτοματοποιημένης διάγνωσης είναι ο τρόπος με τον οποίο οι ακτινολόγοι χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα των υπολογιστών. Τα συστήματα ΥΣΥΔ χρησιμοποιούνται από τους ακτινολόγους ως «δεύτερη γνώμη» καθώς σε αυτούς παραμένει η τελική απόφαση της διάγνωσης. Συγκεκριμένα σε περιπτώσεις όπου οι ακτινολόγοι είναι αρκετά σίγουροι για την απόφασή τους, μπορούν να συμφωνήσουν με το αποτέλεσμα του συστήματος είτε απλά να το αγνοήσουν [5]. Σε περιπτώσεις όμως υψηλής αβεβαιότητας, τα συστήματα αυτά αναμένεται να συνεισφέρουν στη διαδικασία διάγνωσης παράγοντας μια βελτιωμένη τελική απόφαση, εφόσον το σύστημα είναι σε θέση να παράγει σωστά αποτελέσματα. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση του υπολογιστικού συστήματος τόσο μεγαλύτερη επίδραση αναμένεται να έχει στη λήψη της τελικής απόφασης [5]. Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόδοση των συστημάτων αυτών δεν χρειάζεται να ξεπεράσει την απόδοσή των ακτινολόγων καθώς, όπως προαναφέρθηκε, σκοπός τους είναι να συμβάλλουν στη λήψη της τελικής απόφασης και όχι να την ορίσουν αποκλειστικά [5]. Έτσι ο ακτινολόγος παραμένει αυτός που θα πάρει την τελική απόφαση και συμβουλευέται ή όχι το αποτέλεσμα του συστήματος. Για τους λόγους αυτούς τα συστήματα ΥΣΥΔ έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα τα τελευταία χρόνια στην κλινική διαδικασία διάγνωσης με εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως η διάγνωση του καρκίνου του μαστού, η νόσος Alzheimer, ο καρκίνος του πνεύμονα και η πυρηνική ιατρική.

1.2.3 Συστήματα Υποστήριξης Κλινικών Αποφάσεων

Από τα πρώτα χρόνια της σύγχρονης ιστορίας, ο άνθρωπος θέλησε να προσομοιώσει τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Τις τελευταίες δεκαετίες, παράλληλα με την αλματώδη τεχνολογική πρόοδο, ο άνθρωπος κατέβαλε διαρκή προσπάθεια για την κατασκευή «ηλεκτρονικού» εγκέφαλου με λειτουργία παρόμοια με αυτή του δικού του. Έτσι γεννήθηκε ο κλάδος της Τεχνητής Νοημοσύνης(TN) ο οποίος αποτέλεσε το πιο φιλόδοξο και ταυτόχρονα αμφιλεγόμενο κλάδο της σύγχρονης επιστήμης. Στα πλαίσια της προσπάθειάς του αυτής, άρχισαν να αναπτύσσονται τα πρώτα υπολογιστικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούσαν την ιδέα της τεχνητής νοημοσύνης. Παράλληλα, άρχισε να καλλιεργείται η ιδέα της χρήσης της T.N. στην ιατρική και συγκεκριμένα στην ανάπτυξη προγραμμάτων «γιατρών» με τη ελπίδα να βελτιώσουν διάφορες ενέργειες των κλινικών γιατρών όπως η διάγνωση. Τα συστήματα αυτά θα ήταν ικανά να αποθηκεύσουν έναν τεράστιο όγκο δεδομένων καθώς και να τον επεξεργαστούν κατάλληλα.

Με την πάροδο του χρόνου μια μικρή κοινότητα επιστημόνων πληροφορικής και ειδικών υγείας ξεκίνησαν ένα νέο ερευνητικό πρόγραμμα το οποίο ονόμασαν **Artificial Intelligence in Medicine (AIM)**. Ο ορισμός για τον νέο αυτό πρόγραμμα την εποχή εκείνη, όπως δόθηκε από τους Clancey – Shortliffe το 1984 ήταν ο εξής:

«Η ιατρική τεχνητή νοημοσύνη ασχολείται κυρίως με την ανάπτυξη προγραμμάτων T.N για να κάνουν διάγνωση και προτάσεις θεραπείας. Σε αντίθεση με άλλες ιατρικές εφαρμογές οι οποίες είναι βασισμένες σε άλλες προγραμματιστικές τεχνικές, όπως αμιγείς στατιστικές και πιθανοτικές μεθόδους, οι ιατρικές εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης είναι βασισμένες σε συμβολικά μοντέλα των οντοτήτων των ασθενειών καθώς και των σχέσεων που έχουν αυτές με τους παράγοντες ασθενούς και τις κλινικές αναφορές» [1].

Στη σημερινή εποχή, η σημασία της διάγνωσης ως διαδικασίας που χρήζει υπολογιστικής υποστήριξης σε κλινικές υποθέσεις ρουτίνας είναι όλο και μικρότερη. Το φάσμα εφαρμογής των AIM συστημάτων έχει κυρίως επεκταθεί στην υποστήριξη κλινικής συνταγογράφησης, σε κλινικά εργαστήρια, σε εκπαιδευτικές εφαρμογές και για κλινική παρακολούθηση. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως Συστήματα Υποστήριξης Κλινικών Αποφάσεων(ΣΥΚΑ). Τα ΣΥΚΑ είναι συστήματα υποστήριξης ιατρικής απόφασης και είναι σχεδιασμένα να παρέχουν στους ιατρούς και σε άλλους ειδικούς υγείας κλινική υποστήριξη για τη λήψη κλινικών αποφάσεων [2].

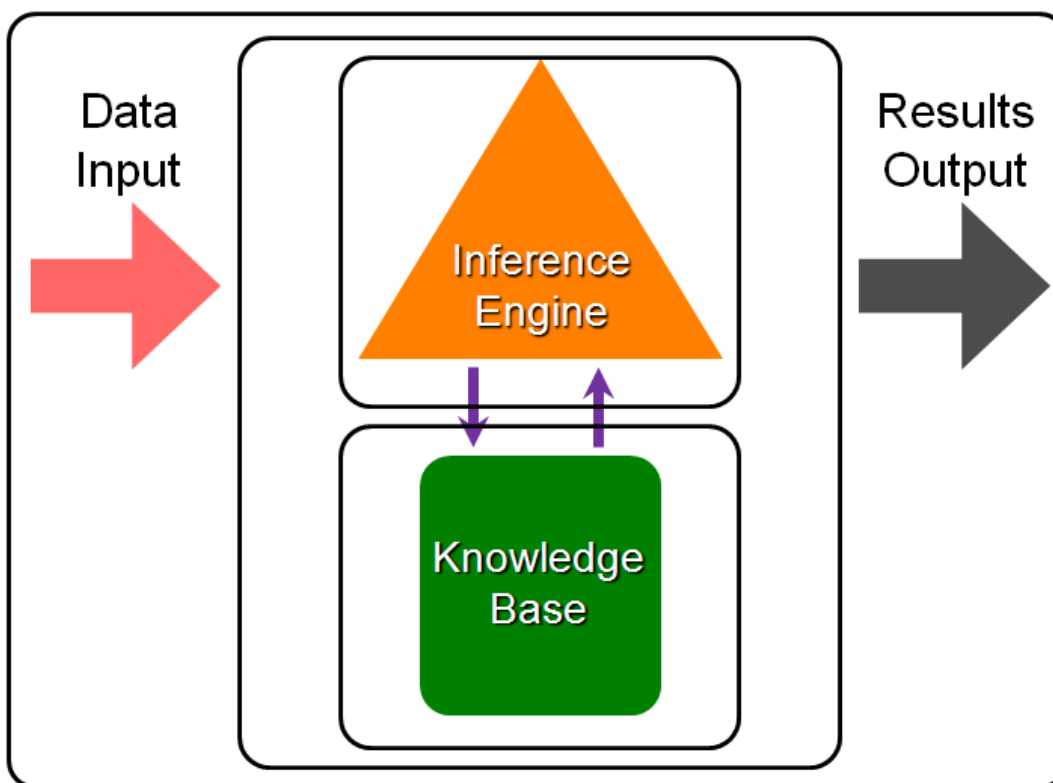
Η χρήση των συστημάτων ΣΥΚΑ παρουσιάζει τόσο θετικά όσο και αρνητικά στοιχεία. Το πιο δύσκολο κομμάτι στην ενσωμάτωση των συστημάτων αυτών στον τομέα της υγείας ήταν το γεγονός ότι ένα ΣΥΚΑ σύστημα θα πρέπει να ακολουθεί τα πρωτόκολλα του παγκόσμιου οργανισμού υγείας και συγκεκριμένα το κλινικό πρωτόκολλο καθώς και όλες τις προ-απαιτούμενες ενέργειες που αυτό ορίζει [15]. Επίσης κάποια ΣΥΚΑ συστήματα είναι φτιαγμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να λειτουργούν αυτόνομα και υστερούν σε δυνατότητα συνεργασίας με συστήματα ηλεκτρονικών ιατρικών φακέλων, τα οποία συνθέτουν το προφίλ ενός ασθενή και διαμοιράζουν την πληροφορία αυτή ανάμεσα σε οργανισμούς και υπηρεσίες [2].

Ένα επιπλέον στοιχείο το οποίο καλείται ένα ΣΥΚΑ σύστημα να αντιμετωπίσει είναι ο αστείρευτος αριθμός τόσο ιατρικών εξετάσεων όσο και κλινικών ερευνών οι οποίες δημοσιεύονται συνεχώς και το σύστημα καλείται να ενσωματώσει. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας στον τομέα της υγείας έχει οδηγήσει στην παραγωγή όλο και μεγαλύτερης ποσότητας γνώσης η οποία πρέπει να ενσωματωθεί από οποιοδήποτε ιατρικό λογισμικό. Παρόλα αυτά η ενσωμάτωση όλων αυτών των αποτελεσμάτων που παράγονται αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι προς επίλυση τόσο στην ανάπτυξη του λογισμικού όσο και στη συντήρησή του.

Τα συστήματα ΣΥΚΑ χρησιμοποιούν κυρίως δύο τεχνολογίες για τη διαχείριση και κατηγοριοποίηση των τεράστιων ποσοτήτων αποτελεσμάτων που παράγονται από τη σύγχρονη ιατρική γνώση:

- Χρήση εργαλείων εξόρυξης δεδομένων

- Χρήση συστημάτων κανόνων

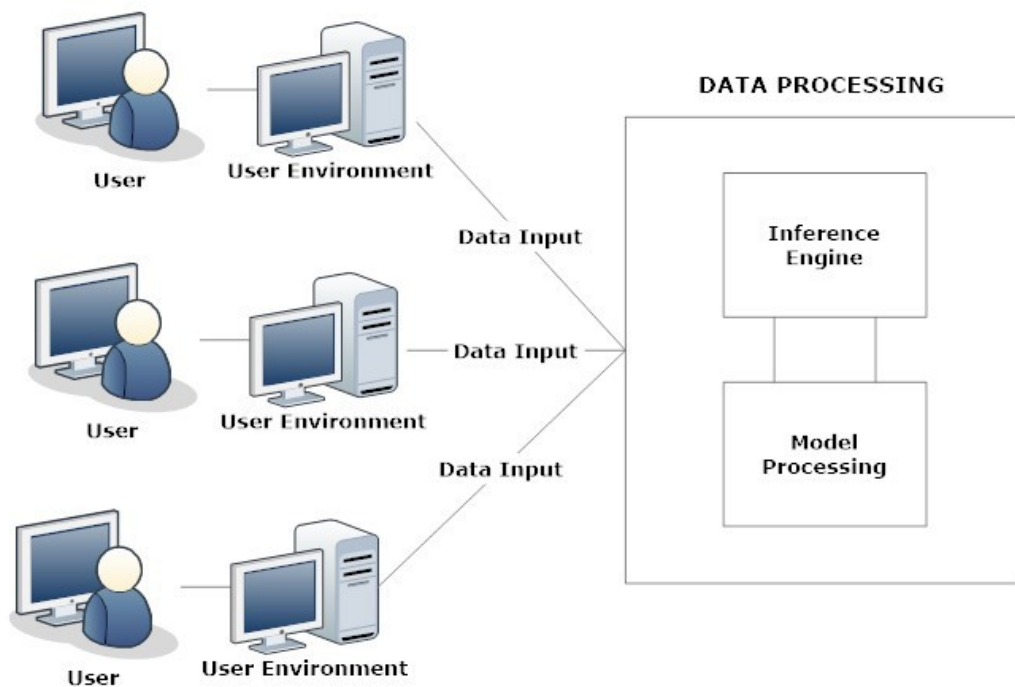


Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική συστημάτων ΣΥΚΑ.

Ένα τυπικό σύστημα ΣΥΚΑ αποτελείται κυρίως από 5 στοιχεία:

1. Διαχείριση δεδομένων,
2. διαχείριση μοντέλων,
3. μηχανή γνώσης,
4. περιβάλλον χρήστη,
5. και χρήστη(-ες).

Το κύριο σημείο στο οποίο διαφέρουν οι δύο τεχνοτροπίες είναι η υλοποίηση της μηχανής γνώσης που χρησιμοποιούν. Στα ΣΥΚΑ συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν εργαλεία κανόνων, η μηχανή εξαγωγής αποτελεσμάτων πρέπει να γνωρίζει όλα τα γεγονότα και τους κανόνες που σχετίζονται με αυτά. Οι κανόνες αυτοί μπορούν να αναπαρασταθούν με διάφορα σύνολα από κανόνες λογικής πρώτης τάξης. Με αυτή την προοπτική το σύστημα θα πρέπει να έχει τεράστια ποσότητα *priori* γνώσης προκειμένου να μπορέσει να εξάγει μια σωστή απάντηση από μια καλά ορισμένη ερώτηση. Από την άλλη πλευρά, τα ΣΥΚΑ συστήματα που χρησιμοποιούν εργαλεία βασισμένα στην τεχνική εξόρυξης δεδομένων δεν απαιτούν *priori* γνώση. Τα συστήματα αυτά είναι σχεδιασμένα για να αναλύουν και να εξάγουν νέα ανεξερεύνητα μοτίβα και σχέσεις δοσμένου ενός συνόλου δεδομένων. Στη συνέχεια εφαρμόζουν όλες αυτές τις εξαγόμενες σχέσεις πάνω σε ένα συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων προς ανάλυση. Το πλεονέκτημα της τεχνοτροπίας αυτής είναι, όπως προαναφέρθηκε, το γεγονός ότι δεν απαιτείται *priori* γνώση και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις που η *priori* γνώση σε κάποιο θέμα είναι περιορισμένη ή ακόμα και ανύπαρκτη [3].



Εικόνα 4: Δομικά στοιχεία ενός τυπικού ΣΥΚΑ συστήματος.

1.3 Αποθετήρια σημασιολογικού ιστού

1.3.1 Ορισμός των αποθετηρίων σημασιολογικού ιστού

Τα αποθετήρια σημασιολογικού ιστού είναι δομές παρόμοιες με εκείνες των βάσεων δεδομένων. Επιτρέπουν την αποθήκευση, αναζήτηση και διαχείριση δομημένων δεδομένων [9]. Τα αποθετήρια σημασιολογικού ιστού, ωστόσο, παρουσιάζουν κάποιες διαφορές σε σχέση με τις βάσεις δεδομένων, οι κυριότερες εκ των οποίων είναι:

- Τα αποθετήρια σημασιολογικού ιστού χρησιμοποιούν σημασιολογικά σχήματα και έτσι μπορούν να προβούν σε αυτοματοποιημένη παραγωγή γνώσης από τα υπάρχοντα δεδομένα.
- Δουλεύουν με αφηρημένα και ελαστικά φυσικά μοντέλα δεδομένων, όπως γράφοι, και έτσι μπορούν εύκολα να ενσωματώσουν και να ερμηνεύσουν νέες οντολογίες γνώσης και σχήματα μετα-πληροφορίας [9].

Για το λόγο αυτό τα αποθετήρια σημασιολογικού ιστού προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία στην ενσωμάτωση διαφορετικών δεδομένων καθώς και δυνατότητα ακριβέστερης ανάλυσής τους. Για να δοθεί ένα παράδειγμα των δυνατοτήτων που μπορεί να προσφέρει η λειτουργία του reasoning, μπορεί κανείς να σκεφτεί ότι κάνοντας ένα ερώτημα σχετικά με εταιρείες τηλεπικοινωνίας στην Ευρώπη και έχοντας μια οντολογία η οποία ορίζει τη σημασιολογία της τοποθεσίας και των εμφωλευμένων σχέσεων ανάμεσα στον τομέα της βιομηχανίας, ένα αποθετήριο σημασιολογικού ιστού μπορεί να επιστρέψει σαν αποτέλεσμα μια εταιρεία κινητής τηλεφωνίας η οποία λειτουργεί στο Ηνωμένο Βασίλειο [9].

1.3.2 Χαρακτηριστικές γλώσσες αναπαράστασης γνώσης σημασιολογικού ιστού

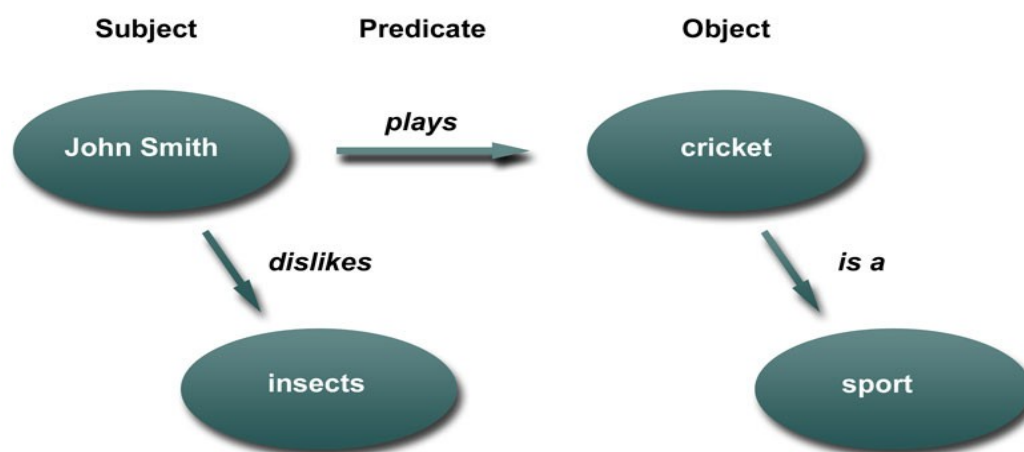
Με την ραγδαία ανάπτυξη του Σημασιολογικού Ιστού τα τελευταία χρόνια τα σημασιολογικά αποθετήρια έγιναν τόσο σημαντικά όσο οι HTTP διακομιστές. Με αφορμή την ανάπτυξη αυτή, ο τομέας αυτός κέντρισε το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν διάφορα αρχέτυπα ανάπτυξης οντολογιών από την κοινότητα του W3C ανάμεσα στα οποία είναι η RDF(S) και η OWL [9].

1.3.2.1 Resource Description Framework-RDF

Το RDF αποτελεί ένα απλό μοντέλο αναπαράστασης γνώσης το οποίο χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη σημασιολογία της πληροφορίας με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι προσβάσιμη από τον υπολογιστή. Επίσης χρησιμοποιείται για να μοντελοποιήσει τα μετα-δεδομένα μιας πληροφορίας. Η RDF περιέχει ένα σύνολο από συμβατές συντάξεις αναπαράστασης όπως XML, JSON, N3 και Turtle. Τα δομικά της στοιχεία είναι τα resources, τα οποία αναπαρίστανται από μοναδικά αναγνωριστικά, τα literals και οι ονομαστικές σχέσεις ανάμεσα σε ζευγάρια από resources είτε ανάμεσα σε ένα resource και ένα literal [10]. Στην RDF όλη η πληροφορία αναπαρίσταται από τριπλέτες της μορφής:

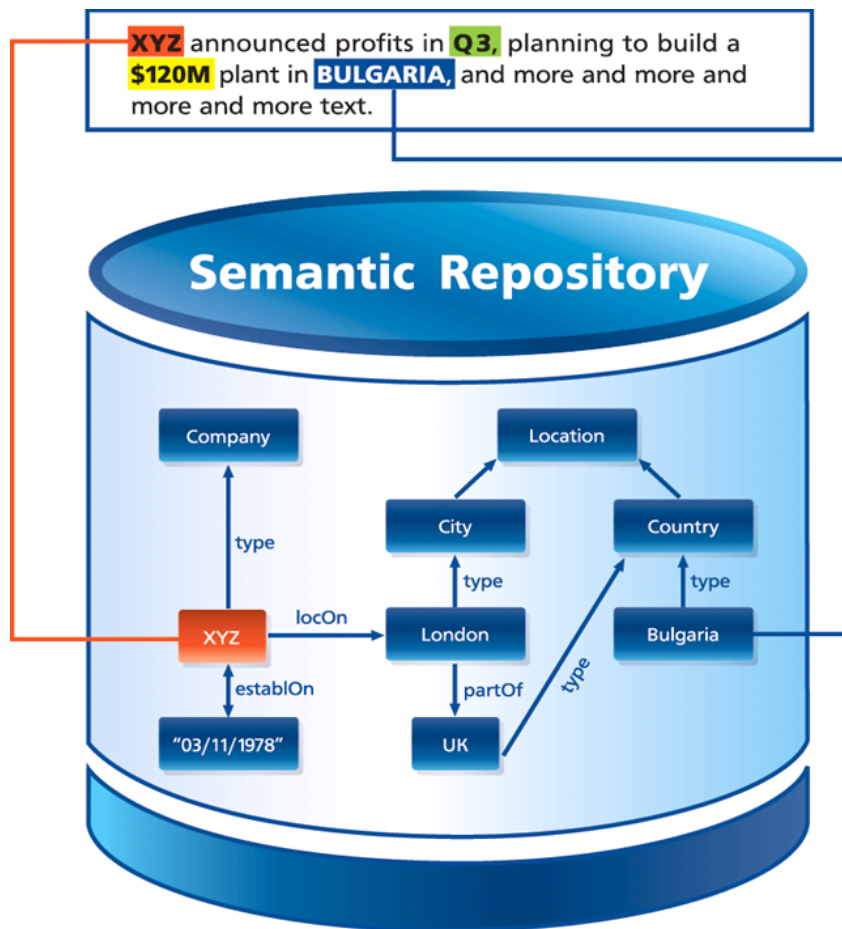
{Subject (resource), Predicate (relation), Object (resource or literal)}

Έτσι όλη η γνώση οπτικοποιείται σε ένα RDF γράφο όπως φαίνεται στην εικόνα 1-6. Τα πλεονεκτήματα του RDF είναι ότι αποτελεί ένα απλό αλλά ταυτόχρονα εκφραστικό μοντέλο δεδομένων, το οποίο χρησιμοποιεί καθολικά μοναδικά αναγνωριστικά για όλα τα resources, διευκολύνει την ενσωμάτωση της όλο και αυξανόμενης παραγόμενης γνώσης ενώ μπορεί διαχειριστεί ακόμα και ημιτελή γνώση με χρήση της υπόθεσης ανοιχτού κόσμου. Επιπλέον χρησιμοποιεί γραφικές δομές για την αναπαράσταση της γνώσης διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό τη συγχώνευση διαφορετικών δεδομένων.



Εικόνα 5: Τυπική αναπαράσταση γνώσης σε RDF triple³

³ <http://www.ansta.co.uk/blog/semantic-web-technologies-part-3-94/>

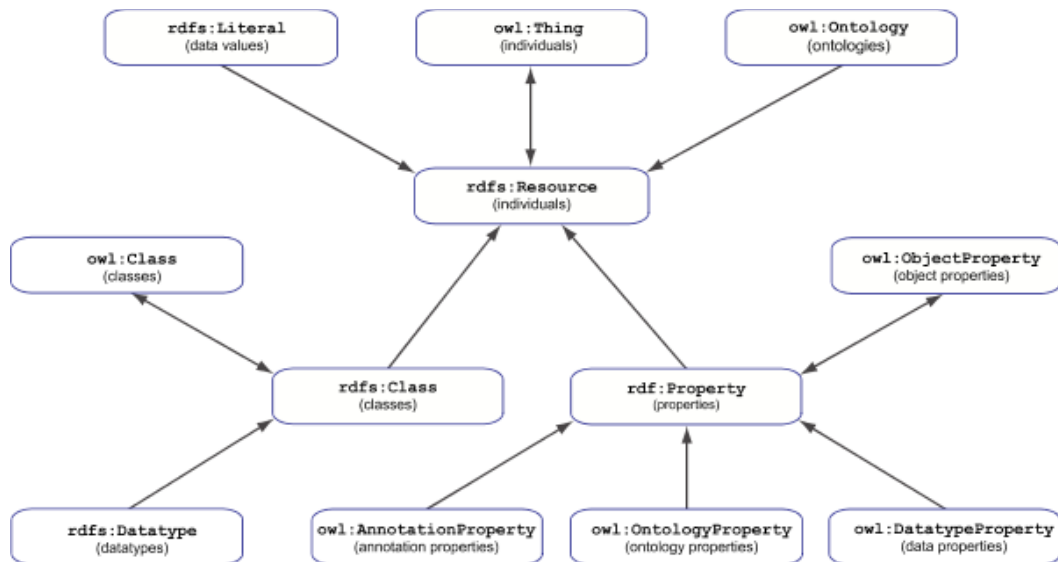


Εικόνα 6: Παράδειγμα χρήσης SR για αυτοματοποιημένη επισήμανση με χρήση τεχνικών εξόρυξης κειμένου⁴.

1.3.2.2 Ontology Web Language-OWL

Η OWL χρησιμοποιεί για την αναπαράσταση γνώσης κλάσεις και ιδιότητες ενώ ορίζει και ιεραρχίες μεταξύ ιδιοτήτων και κλάσεων. Επίσης περιέχει αξιώματα, κανόνες οι οποίοι οδηγούν στην παραγωγή νέας γνώσης από τα υπάρχοντα δεδομένα, τα οποία οδηγούν στην παραγωγή νέων τριπλέτων. Η OWL είναι πιο εκφραστική σε σχέση με τη Resource Description Framework Schema (RDFS) καθώς εκτός από τα παραπάνω υποστηρίζει επίσης και επιπλέον ιδιότητες όπως ισότητα/διαφοροποίηση κλάσεων (sameAs, differentFrom, equivalentClass). Παράλληλα δίνει τη δυνατότητα ορισμού πιο εκφραστικών κλάσεων (τομή, ένωση, συμπλήρωση, περιορισμούς πληθυκότητας, δήλωση ξένων κλάσεων) καθώς και ορισμού εκφραστικότερων ιδιοτήτων (μεταβατικές, λειτουργικές, συμμετρικές ιδιότητες, περιορισμούς τιμής). Μια τυπική αναπαράσταση γνώσης σε OWL φαίνεται στην εικόνα 7.

⁴ <http://ldbcouncil.org/blog/industry-relevance-semantic-publishing-benchmark>



Εικόνα 7: Παράδειγμα αναπαράστασης OWL γνώσης⁵.

1.4 Κυριότερες ιατρικές οντολογίες

Οι ιατρικές οντολογίες σήμερα κατάφεραν να ξεπεράσουν κάποια από τα εμπόδια που καθιστούσαν αδύνατη την ανάπτυξη ενός υπολογιστικού συστήματος το οποίο θα μπορούσε να εξάγει αξιόπιστα συμπεράσματα από την ανάλυση του όλου αυξανόμενου όγκου ιατρικών δεδομένων [16]. Συγκεκριμένα κάποια από αυτά τα εμπόδια είναι τα εξής:

1. Οι ιατρικές εικόνες περιέχουν πληροφορία σχετικά με την ανατομία και την παθολογία της περιοχής που απεικονίζουν. Η σημασία της εικόνας καθορίζεται ουσιαστικά από τον εκάστοτε ιατρό ο οποίος θα αναλύσει την εικόνα. Έτσι, κάθε ιατρός δίνει μία περιγραφή στην εικόνα χωρίς να υπάρχει κάποιο κοινό πρότυπο ώστε να μπορούν να εξαχθούν αυτοματοποιημένα κάποια συμπεράσματα. Επιπλέον η έλλειψη σύνδεσης της περιγραφής με την αντίστοιχη εικόνα καθιστά αδύνατη την πραγματοποίηση σύνθετων ερωτημάτων.
2. Υπάρχει τεράστια διαφοροποίηση στην ορολογία που χρησιμοποιεί ένας ιατρός για την ανάλυση της ίδιας ανατομικής περιοχής ανάλογα με την κατάσταση στην οποία αυτή βρίσκεται, όπως για παράδειγμα αν η περιοχή παρουσιάζει καρκίνο.

Με την ανάπτυξη των ιατρικών οντολογιών τέθηκαν τα θεμέλια για το κοινό «συντακτικό» που έλλειπε από τη διαδικασία ανάλυσης των ιατρικών εικόνων από τους ιατρούς. Επιπλέον μία οντολογία παρουσιάζει εκτός από τους όρους της ανατομικής περιοχής την οποία περιγράφει και τις σχέσεις μεταξύ αυτών των όρων. Με τον τρόπο αυτό συστήματα που χρησιμοποιούν την οντολογία μπορούν και αναγνωρίζουν διαφορετικούς όρους που μπορεί να περιγράφουν την ίδια ανατομική περιοχή ως όμοιους.

Η σημαντικότερη συνεισφορά των ιατρικών οντολογιών σήμερα όμως θα μπορούσε κάποιος να πει ότι είναι η ανάπτυξη πιο ευέλικτων συστημάτων σε σχέση με τα συστήματα που βασίζονται σε δομές βάσεων δεδομένων, τα οποία μπορούν μέσω της λεπτομερούς απεικόνισης των σχέσεων μεταξύ των διαφορετικών όρων να εξάγουν αξιόπιστη και λεπτομερή γνώση σε σημαντικό βάθος αναζήτησης [40]. Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν συνοπτικά 5 από τις κυριότερες οντολογίες που έχουν αναπτυχθεί σήμερα στον τομέα της Ιατρικής Απεικόνισης και είναι οι εξής:

1. FMA

⁵ <https://www.w3.org/TR/owl2-rdf-based-semantics/>

2. RadLex
3. ICD-10
4. SNOMED CT
5. MeSH

1.4.1 FMA

Η οντολογία Foundational Model of Anatomy (FMA) είναι ένα αναπτυσσόμενο υπολογιστικό μοντέλο γνώσης το οποίο χρησιμοποιείται στη βιοπληροφορική. Η FMA αποτελεί μια δομημένη και ακριβής αναπαράσταση του ανθρώπινου σώματος σε όρους κατανοητούς τόσο από τον άνθρωπο όσο και από τον υπολογιστή [37]. Περιλαμβάνει πάνω από 75.000 ανατομικούς όρους οι οποίοι περιγράφουν τα ανθρώπινα μέρη τόσο σε υπό-μοριακό επίπεδο όσο και ως ολοκληρωμένη οντότητα. Η FMA αποτελείται κυρίως από 4 δομικά στοιχεία [12]:

- **Anatomical Taxonomy (At):** Η κλάση αυτή διαχωρίζει τις ανατομικές οντότητες σε κλάσεις ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τα οποία μοιράζονται μεταξύ τους (genus) καθώς και εκείνα τα οποία τα διαχωρίζουν από τις υπόλοιπες οντότητες (differentia).
- **Anatomical Structural Abstraction (ASA):** Η κλάση αυτή περιγράφει τις ολικές και μερικές σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων που υπάρχουν στην κλάση At.
- **Anatomical Transformation Abstraction (ATA):** Η κλάση αυτή περιγράφει την μορφολογική μετατροπή των οντοτήτων που περιλαμβάνονται στην κλάση At κατά τη διάρκεια τόσο της προγεννητικής ανάπτυξης όσο και κατά τον μεταγεννητικό κύκλο ζωής.
- **Metaknowledge (Mt):** Η κλάση αυτή περιγράφει τις αρχές, τους κανόνες και τους ορισμούς σύμφωνα με τους οποίους αναπαρίστανται οι προηγούμενες τρεις κλάσεις της FMA.

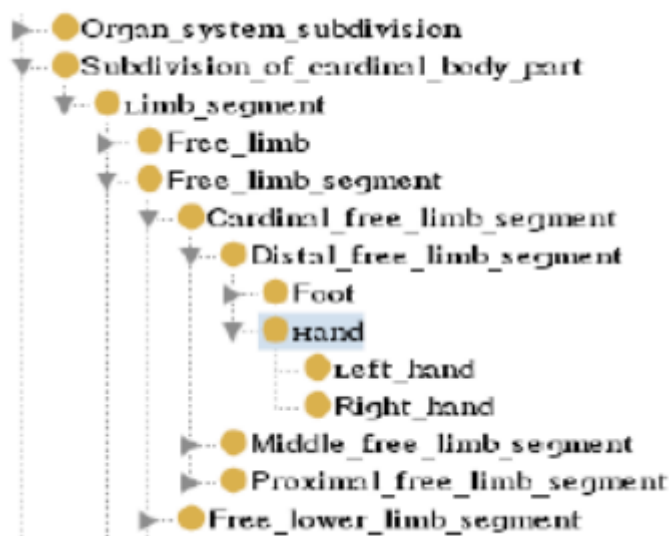
Το πιο κατανοητό δομικό στοιχείο στην FMA είναι το At (Anatomical Taxonomy). Η κύρια κλάση στο At είναι η Anatomical Structure. Η κλάση αυτή περιλαμβάνει όλα τα αντικείμενα τα οποία αναπαράγονται από την οργανωμένη έκφραση των ομάδων των ίδιων δομικών γονιδίων του οργανισμού. Επίσης περιλαμβάνει βιολογικά μακρομόρια, κύτταρα μαζί με τα μέρη τους, όργανα με τα μέρη τους όπως και ολόκληρα συστήματα οργάνων και τμημάτων του σώματος.

1.4.2 RADLEX (Standard Radiology Lexicon)

Το RadLex δημιουργήθηκε από την ομοσπονδία ακτινολόγων της βόρειας Αμερικής (RSNA). Αποτελεί ένα αναλυτικό και κατανοητό λεξικό για την εύρεση διάφορων πληροφοριακών πόρων πάνω στο αντικείμενο της ακτινολογίας. Με λίγα λόγια αποτελεί μια ενοποιημένη γλώσσα ακτινολογικών όρων. Το μεγάλο όφελος από την ανάπτυξη ενός τέτοιου λεξικού είναι ότι ο τεράστιος όγκος πληροφορίας που παράγεται σήμερα στην ιατρική δεν μπορεί να υποστεί επεξεργασία και διαχείριση αν δεν υπάρχει ένα κοινό πρότυπο πάνω στο οποίο όλοι θα μπορούν να βασιστούν και να καταλάβουν.

Το RadLex περιγράφει κάθε πληροφορία σχετικά με τον τομέα της ακτινολογίας. Είναι οργανωμένο σε μία ιεραρχία με το RadLex σαν ριζικό όρο. Περιέχει πάνω από 7400 όρους οι οποίοι

είναι οργανωμένοι σε 9 κύριες κατηγορίες όπως για παράδειγμα ανατομική περιοχή, θεραπεία και ποιότητα εικόνας.



Εικόνα 8: Ανατομικό δέντρο του χεριού στην FMA.

Το RadLex παρουσιάζει 3 περιορισμούς από οντολογικής πλευράς [25]:

- Λόγω του σχεδιασμού του ως όρο – κεντρικό σύστημα αγνοεί τις οντότητες στις οποίες οι όροι του αναφέρονται.
- Έλλειψη ταξινόμιας σε σχέση με τη βιοϊατρική πραγματικότητα.
- Η αφηρημένη έννοια και ανάμειξη σχέσεων όπως για παράδειγμα σχέσεις της μορφής «is_a», «part_of», «contained_in».

Για το λόγο αυτό έχει προταθεί ένα υβριδικό μοντέλο μεταξύ της FMA και του RadLex το οποίο ονομάζεται FMA-RadLex [41].

1.4.3 ICD -10

Το ICD 10 εγκρίθηκε από την Παγκόσμιο Συνέλευση Υγείας (World Health Assembly) το Μάιο του 1990 και δόθηκε στα μέλη του Παγκοσμίου Οργανισμού Υγείας (World Health Organization) από το 1994.

Το International Classification of Diseases (ICD) αποτελεί το βασικό διαγνωστικό εργαλείο για την επιδημιολογία, τη διαχείριση των συστημάτων υγείας καθώς και για κλινικούς σκοπούς. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η ανάλυση της ευρύτερης εικόνας για την κατάσταση των διαφορετικών πληθυσμιακών ομάδων. Χρησιμοποιείται κυρίως για την παρακολούθηση τόσο των επιπτώσεων όσο και του επιπολασμού των ασθενειών και διαφόρων άλλων προβλημάτων υγείας, επιδεικνύοντας έτσι μια περιγραφική εικόνα της γενικής κατάστασης υγείας των χωρών και των πληθυσμών.

Το ICD χρησιμοποιείται ευρέως από πολλούς ιατρούς, νοσηλευτές, διαχειριστές συστημάτων υγείας καθώς και από προγραμματιστές και εργαζόμενους σε τμήμα διαχείρισης πληροφοριών. Ο κύριος ρόλος του είναι η κατηγοριοποίηση των ασθενειών και των γενικότερων ιατρικών προβλημάτων τα οποία καταγράφηκαν τόσο σε ιατρικά έγγραφα όπως πιστοποιητικά θανάτου όσο και σε βιολογικές ενδείξεις όπως οι ιατρικές εξετάσεις ασθενών. Επιπλέον της δυνατότητας που προσφέρει το ICD για την αποθήκευση και ανάκτηση των διαγνωστικών δεδομένων για

επιδημιολογικούς και κλινικούς σκοπούς, προσφέρει επίσης τη βάση για τη συλλογή των δεδομένων θνησιμότητας και νοσηρότητας για τα κράτη μέλη του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας.

Το ICD χρησιμοποιείται συνήθως ως σημείο αναφοράς γλωσσικών όρων αλλά αναπτύχθηκε επίσης, βασισμένο σε αυτό, και μια οντολογία, η ICD -10, από τον Fondazione Bruno Kessler σε μορφή OWL αρχείου. Στη μορφή αυτή το ICD μπορεί να περιγράψει λεπτομερέστερα τους όρους αλλά όχι τις σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών οντοτήτων.

Η επόμενη έκδοση του ICD -10 είναι η ICD-11 η οποία στην παρούσα φάση εκπόνησης της διπλωματικής βρίσκεται σε μια διαδικασία αναθεώρησης. Η ημερομηνία δημοσιοποίησης της νέας έκδοσης έχει οριστεί για το 2018. Μερικά από τα χαρακτηριστικά τα οποία θα έχει η νέα έκδοση του ICD θα είναι τα εξής:

- Το ICD–11 θα είναι διαθέσιμο σε πολλαπλές γλώσσες.
- Ορισμοί, ενδείξεις, συμπτώματα καθώς και άλλα στοιχεία σχετικά με ασθένειες θα οριστούν με ένα πιο δομημένο τρόπο έτσι ώστε να επιτευχθεί ακόμη πιο ακριβή καταγραφή τους.
- Το ICD–11 θα είναι συμβατό με ένα μεγάλο εύρος ηλεκτρονικών εφαρμογών υγείας καθώς και πληροφοριακών συστημάτων.
- Το ICD–11 θα είναι διαθέσιμο δωρεάν στο ευρύ κοινό έτσι ώστε να μπορεί κάποιος εύκολα να το κατεβάσει και να το χρησιμοποιήσει για προσωπικούς του σκοπούς.

1.4.4 SNOMED CT

Η SNOMED Clinical Terms (SNOMED CT) αποτελεί μια συστηματικά οργανωμένη συλλογή ιατρικών όρων η οποία μπορεί εύκολα να επεξεργαστεί από ένα υπολογιστικό σύστημα [27][39][49]. Η SNOMED παρέχει κώδικες, όρους, ορισμούς και συνώνυμα οι οποίοι εμφανίζονται αρκετά συχνά στις κλινικές αναφορές και τα εγχειρίδια. Αποτελεί μία από τις πιο λεπτομερείς, πολύγλωσσες και κατανοητές συλλογές κλινικής ορολογίας στον κόσμο. Κύριος σκοπός της SNOMED είναι η κωδικοποίηση των ερμηνειών που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ιατρικής πληροφορίας έτσι ώστε να βελτιώσει, σε επόμενο στάδιο, τον τρόπο καταγραφής και αποθήκευσης των ιατρικών εγγραφών και επομένως την ιατρική περίθαλψη γενικότερα. Επιπλέον περιέχει πληροφορία για διάφορα κλινικά ευρήματα, συμπτώματα, διαγνώσεις, δομές οργανισμών καθώς και φάρμακα, ουσίες και δείγματα.

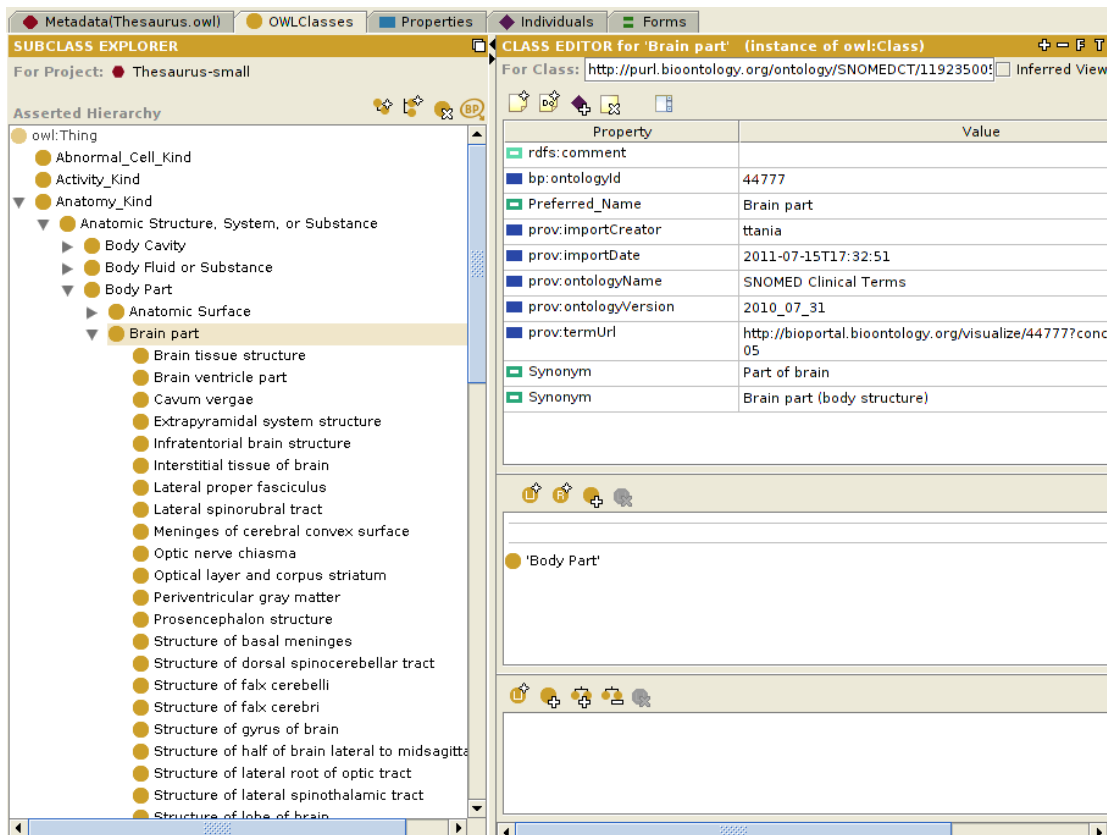
Η SNOMED CT αποτελεί ένα πρότυπο από μια σειρά προτύπων που ορίζονται για χρήση σε συστήματα που χρησιμοποιούνται από την ομοσπονδιακή κυβέρνηση των Η.Π.Α και σχετίζονται με την ηλεκτρονική ανταλλαγή κλινικών πληροφοριών υγείας. Αποτελεί επίσης ένα από τα απαιτούμενα πρότυπα στις προδιαγραφές διαλειτουργικότητας του πίνακα προτύπων σχετικά με την τεχνολογία ιατρικής πληροφορίας των Η.Π.Α (U.S.A Healthcare Information Technology Standards Panel).

Η SNOMED CT αποτελείται κυρίως από 4 συστατικά στοιχεία:

- Κώδικες Σεναρίων (Concept Codes): Είναι αριθμητικοί κώδικες οι οποίοι χαρακτηρίζουν μοναδικά τους κλινικούς όρους, είτε θεμελιώδεις είτε μετέπειτα ορισμένοι, οργανώνοντάς τους σε ιεραρχίες.
- Περιγραφές (Descriptions): Λεκτικές περιγραφές των κωδικών σεναρίων.
- Σχέσεις (Relationships): Σχέσεις μεταξύ των κωδικών σεναρίων οι οποίοι παρουσιάζουν μια σχετική ερμηνεία.

- **Σύνολα Αναφορών (Reference Sets):** Χρησιμοποιούνται για να ομαδοποιήσουν τους κώδικες σεναρίων ή τις περιγραφές σε σύνολα συμπεριλαμβανομένων και συνόλων τα οποία αναφέρονται σε άλλες ταξινομήσεις και πρότυπα [26].

Οι κώδικες σεναρίων είναι αντιπροσωπευτικές μονάδες οι οποίες κατηγοριοποιούν το οτιδήποτε χαρακτηρίζει τις διαδικασίες ιατρικής περίθαλψης και επομένως χρειάζεται να καταγραφεί. Το 2011, το SNOMED περιείχε 311.000 σεναρία τα οποία αντιπροσωπεύονται μοναδικά από έναν κωδικό. Για παράδειγμα το αναγνωριστικό σεναρίου 22298006 αναφέρεται στο Έμφραγμα μυοκαρδίου. Όλα τα σεναρία στο SNOMED είναι οργανωμένα σε ακυκλικές ταξινομικές ιεραρχίες της μορφής is-A. Για παράδειγμα η Ιογενής Πνευμονία είναι ,is-A, μια Μολυσματική Πνευμονία. Με αυτή τη μορφή εγγραφές που ανήκουν στην μία κλάση αυτόματα συμπεραίνεται ότι ανήκουν και στη δεύτερη. Η ταξινομική δομή των δεδομένων βοηθάει στην καταγραφή και την μετέπειτα πρόσβασή τους από διαφορετικά επίπεδα συνάθροισης. Τα σεναρία στη SNOMED συνδέονται με πάνω από 1.360.000 διαφορετικούς εξωτερικούς συνδέσμους σχηματίζοντας έτσι τις προαναφερθείσες σχέσεις.



Εικόνα 9: Το κομμάτι του εγκεφάλου στην ιεραρχία της SNOMED.

1.4.5 MeSH

Η Medical Subject Heading (MeSH) είναι μια οντολογία η οποία αποτελεί το λεξικογραφικό θησαυρό της National Library of Medicine (NLM). Αποτελείται από όρους οι οποίοι ονομάζονται *περιγραφητές* και είναι δομημένοι σε μία ιεραρχική σειρά που επιτρέπει την αναζήτηση όρων σε διαφορετικά επίπεδα εξειδίκευσης.

Οι *περιγραφητές* της MeSH είναι οργανωμένοι τόσο σε ιεραρχική όσο και σε αλφαβητική δομή. Στην κλίμακα ιεραρχίας των όρων της MeSH, σχετικά με το επίπεδο αφαίρεσης του κάθε όρου, στα υψηλότερα επίπεδα αναφέρονται όροι όπως η *Ανατομία* και οι *Ψυχικές Διαταραχές*. Έννοιες οι οποίες

είναι πιο ειδικού ενδιαφέροντος βρίσκονται σε μεγαλύτερο βάθος στην ιεραρχία της MeSH. Για παράδειγμα στο 13^ο επίπεδο βρίσκονται όροι όπως ο *Αστράγαλος* και η *Διαταραχή Συμπεριφοράς*.

Το 2016 η MeSH περιείχε 27.833 περιγραφητές⁶ με πάνω από 87.000 εισακτέους όρους οι οποίοι συμμετέχουν στην εύρεση της πιο κατάλληλης επικεφαλίδας της MeSH, όπως για παράδειγμα ο εισακτέος όρος *Βιταμίνη C* αναφέρεται στον περιγραφητή *Ασκορβικό Οξύ*. Εκτός των επικεφαλίδων της MeSH υπάρχουν επιπλέον συμπληρωματικές εγγραφές οι οποίες ονομάζονται Supplementary Concept Records (SCRs). Οι SCRs περιέχουν ειδικά παραδείγματα χημικών, ασθενειών και φαρμακευτικών πρωτοκόλλων και συνδέονται με τους περιγραφητές μέσω ενός χάρτη αντιστοιχίας ο οποίος ονομάζεται Heading Map (HM). Ο HM χρησιμοποιείται για την γρήγορη και αποτελεσματική αναγνώριση της πιο ειδικής κλάσης περιγραφητή από τη MeSH.

Η οντολογία της MeSH χρησιμοποιείται ευρέως από τη NLM για την ταξινόμηση άρθρων από περίπου 5.500 κορυφαία επιστημονικά περιοδικά με σκοπό την ανανέωση της βάσης δεδομένων του PubMed/MEDLINE. Επιπλέον χρησιμοποιείται για την βάση δεδομένων της NLM η οποία περιέχει βιβλιογραφικές περιγραφές επιστημονικών βιβλίων, εγγράφων και σχετικών βάσεων δεδομένων. Κάθε βιβλιογραφική αναφορά αναφέρεται σε ένα σύνολο όρων της MeSH και περιγράφει το περιεχόμενο του εκάστοτε αντικειμένου.



Εικόνα 10: Ιεραρχική θέση του περιγραφητή «Διαταραχή Συμπεριφοράς» στην οντολογία της MeSH.

6 <https://www.nlm.nih.gov/pubs/factsheets/mesh.html>

Κεφάλαιο 2: Οντολογία για την αναπαράσταση της καρωτιδικής αθηροσκλήρωσης

2.1 Εισαγωγή στο σημασιολογικό ιστό

Ο ιδρυτής του σημασιολογικού ιστού Tim Berners Lee έδωσε την εξής περιγραφή σχετικά με το σημασιολογικό ιστό: “*Το web σχεδιάστηκε ως ένας χώρος πληροφορίας με σκοπό να είναι χρήσιμος όχι μόνο για την επικοινωνία μεταξύ ανθρώπου-ανθρώπου αλλά και για τις μηχανές να μπορούν να συμμετέχουν και να βοηθούν. Ένα από τα κύρια εμπόδια προς την επίτευξη του στόχου αυτού είναι ότι η πληροφορία στον παγκόσμιο ιστό είναι στην πλειοψηφία της σχεδιασμένη ώστε να γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο και παρόλο που μπορεί να αντλείται από βάσεις δεδομένων με αρκετά σαφή κριτήρια ως προς τα πεδία της, ακόμα δεν είναι ικανή να μπορεί να αναγνωριστεί από ένα ρομπότ που περιηγείται στο διαδίκτυο. Αν ξεχάσουμε για λίγο το πρόβλημα εκμάθησης μιας μηχανής να μπορεί να συμπεριφέρεται σαν άνθρωπος, ο σημασιολογικός ιστός προσπαθεί να αναπτύξει γλώσσες οι οποίες θα μπορούν να εκφράσουν την πληροφορία σε μια μορφή επεξεργάσιμη από μια μηχανή*”. Όπως μπορεί κανείς να καταλάβει από τα λόγια που μόλις παρατέθηκαν, σκοπός του σημασιολογικού ιστού είναι ο σχεδιασμός και η οργάνωση της πληροφορίας σε μορφή που είναι επεξεργάσιμη από μια μηχανή, όχι μόνο για σκοπούς παρουσίασης αλλά και για τον αυτοματισμό και την επαναχρησιμοποίηση της πληροφορίας μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών.

Στο δεδομένο σημείο θα ήταν καλό να δοθεί ένα παράδειγμα που να δείχνει γιατί η ήδη υπάρχουσα μορφή των δεδομένων δεν είναι αρκετή για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων από ένα αυτοματοποιημένο σύστημα. Ο παγκόσμιος ιστός σήμερα αποτελείται από διάφορες ιστοσελίδες οι οποίες δεν είναι κάτι παρά HTML κώδικας που περιέχει ετικέτες με πληροφορία η οποία έχει συγκεκριμένη σημασία όταν ένας άνθρωπος την επεξεργάζεται. Για παράδειγμα, σε μία ιστοσελίδα υπάρχει η ετικέτα `<h1>` η οποία περιέχει κείμενο με μέγεθος μεγαλύτερο από την υπόλοιπη σελίδα. Για έναν επισκέπτη της σελίδας αυτής η ετικέτα αυτή σημαίνει ότι το κείμενο που περιέχεται σε αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντικό και ίσως να περιγράφει το περιεχόμενο ολόκληρης της σελίδας. Για μια μηχανή η ετικέτα αυτή δεν είναι τίποτα άλλο από μια πληροφορία κειμένου. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η ο τίτλος μίας φωτογραφίας ο οποίος για έναν χρήστη μπορεί να δώσει πληροφορία αρκετή για να καταλάβει τι βλέπει ενώ για μία μηχανή η πληροφορία αυτή έχει λίγη έως και καθόλου σημασία. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται σήμερα από τις σύγχρονες μηχανές αναζήτησης για την εξαγωγή αποτελεσμάτων προς απάντηση στα ερωτήματα των χρηστών. Το κύριο όμως πρόβλημα στην προσέγγιση αυτή είναι ότι μία μηχανή δεν μπορεί να εξάγει δικά της συμπεράσματα ώστε να εξειδικεύσει την αναζήτηση όσο το δυνατόν εγγύτερα σε αυτό που θέλει ο χρήστης καθώς ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί είναι ο εξής: Συλλέγει το ερώτημα του χρήστη, το διασπάει σε μικρές μονάδες-λέξεις και ψάχνει στον ιστό για αποτελέσματα με ακριβή αντιστοιχία μεταξύ αυτών των λέξεων. Ως συνέπεια αυτού μπορεί να αποτελέσει η προβολή αποτελεσμάτων που περιέχουν τους όρους για τους οποίους έγινε η αναζήτηση αλλά αναφέρονται σε άλλους τομείς ενδιαφέροντος.

Με τη χρήση του Σημασιολογικού ιστού μπορεί να συνδεθεί η κάθε πληροφορία μέσω λογικών σχέσεων με άλλα κομμάτια πληροφορίας και έτσι να προσομοιωθεί η σημασία της. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει βαθύτερη αναζήτηση στα ερωτήματα που εκτελούνται και να παραχθούν καλύτερα και πιο ακριβή αποτελέσματα. Για παράδειγμα έστω ότι θέλει κάποιος να κάνει μία απλή αναζήτηση σχετικά με το CEO Γιώργο Παπαδόπουλο. Η αναζήτηση αυτή θα φέρει αποτελέσματα στα οποία περιέχεται το όνομα της αναζήτησης και μόνο. Σε μία άλλη όμως αναζήτηση η οποία θα βασιζόταν στο σημασιολογικό μοντέλο θα υπήρχε η δυνατότητα να αναζητηθούν όλες οι εταιρείες στις οποίες είχε δουλέψει πριν το συγκεκριμένο πρόσωπο, η οικογενειακή του κατάσταση, τα πράγματα που του αρέσει να κάνει στον ελεύθερο χρόνο του καθώς και πιο σύνθετα ερωτήματα όπως

η διακύμανση στο κέρδος κάθε εταιρείας στην οποία είχε δουλέψει, ως CEO, ο συγκεκριμένος άνθρωπος και το διάστημα παραμονής του εκεί.

The slide is titled "OWL2 Property chain example" and features the DERI logo in the top right corner. Below the title, it lists three OWL properties: `ex:uncle rdf:type owl:ObjectProperty .`, `ex:parent rdf:type owl:ObjectProperty .`, and `ex:brother rdf:type owl:ObjectProperty .`. A subsequent line of code defines a property chain: `[] rdfs:subPropertyOf ex:uncle; owl:propertyChain (ex:parent ex:brother);`. Below this, it shows an inference: `:alice ex:parent :bob .`, `:bob ex:brother :joe .`, followed by `=>` and the result `:alice ex:uncle :joe .`. To the right of the code, there is a diagram consisting of three circles. The top circle is connected to the middle circle by a line, and the middle circle is connected to the bottom circle by a line, illustrating the transitive relationship between the properties.

Digital Enterprise Research Institute www.deri.ie

sfi NUI Galway OE Gallimh Enabling **networked** knowledge.

Εικόνα 11: Παράδειγμα χρήσης της OWL για την αναπαράσταση της έννοιας του θείου.

Η δυνατότητα αυτή, να εξαχθεί πληροφορία μέσα από την περιγραφή ενός αντικειμένου είναι ο λόγος για τον οποίο ο σημασιολογικός ιστός έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον, της σύγχρονης επιστημονικής κοινότητας, ως μια καινοτόμα ιδέα. Σήμερα, η ανάπτυξη έξυπνων εργαλείων τα οποία εκμεταλλεύονται την περιγραφική πληροφορία που υπάρχει και μπορούν και ακολουθούν τη λογική πορεία της, είναι ραγδαία [19]. Τα προγράμματα αυτά με χρήση του σημασιολογικού μοντέλου καταφέρνουν να εξαγάγουν συμπεράσματα από τη γνώση που διαχειρίζονται και να 'απαντούν' σε πολύπλοκα ερωτήματα.

2.2 Εισαγωγή στην OWL-Lite

Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε μια μικρή εισαγωγή στην γλώσσα OWL η οποία αποτελεί μία από τις βασικές γλώσσες αναπαράστασης γνώσης στην ανάπτυξη του σημασιολογικού ιστού. Στην ενότητα αυτή θα αναλυθεί τη γλώσσα OWL-Lite η οποία αποτελεί ένα υποσύνολο της εκφραστικότητας της OWL.

Η γλώσσα OWL αποτελεί την κύρια γλώσσα μιας οντολογίας και είναι εκείνη η οποία προσδίδει σημασία στην ορολογία των διαδικτυακών εγγράφων και προσφέρει τη δυνατότητα αυτοματοποιημένης επεξεργασίας και εξαγωγής συμπερασμάτων από ένα υπολογιστικό σύστημα. Αποτελεί προσθήκη του οργανισμού W3C στις προτάσεις που αφορούν το σημασιολογικό ιστό. Η φυσική πορεία των δομών που έχουν προταθεί από το W3C είναι ο εξής:

1. **XML** αποτελεί μια δομή που εισάγει μια επιφανειακή σύνταξη για την περιγραφή δομημένων εγγράφων η οποία όμως δεν επιβάλλει κανένα σημασιολογικό περιορισμό στη σημασία αυτών των εγγράφων [11].
2. **XML SCHEMA** είναι μια γλώσσα η οποία περιορίζει τη δομή των XML εγγράφων και επίσης εμπλουτίζει την XML με την εισαγωγή τύπων δεδομένων [11].
3. **RDF** είναι ένα μοντέλο δεδομένων για αντικείμενα (“πόρους”) και σχέσεις μεταξύ αυτών καθώς επίσης εισάγει κάποια απλή σημασία στα αντικείμενα αυτά. Επιπλέον τα μοντέλα αυτά δεδομένων μπορούν να αναπαρασταθούν σε σύνταξη XML [11].
4. **RDF Schema** αποτελεί ένα λεξιλόγιο για την περιγραφή ιδιοτήτων και κλάσεων διαφορετικών RDF αντικειμένων και δίνει τη δυνατότητα της γενίκευσης τους [11].
5. **OWL** είναι η γλώσσα που προσδίδει ακόμα περισσότερο λεξιλόγιο στην περιγραφή των κλάσεων και των ιδιοτήτων. Για παράδειγμα προσθέτει σχέσεις μεταξύ κλάσεων (π.χ ξένες κλάσεις), ισότητα κλάσεων και χαρακτηριστικά ιδιοτήτων όπως η συμμετρία [11].

Η OWL περιλαμβάνει τρεις υπο-γλώσσες οι οποίες με τη σειρά τους προσφέρουν αυξανόμενη εκφραστικότητα :

- OWL Lite
- OWL DL
- OWL Full

Όπως προαναφέρθηκε, στην ενότητα αυτή θα περιγραφεί η OWL Lite η αποτελεί τη μικρότερη σε εκφραστικότητα από τις τρεις υπο-γλώσσες.

2.2.1 Σύνοψη των δομικών στοιχείων της OWL Lite

Όπως αναφέρεται στο [11] η OWL Lite έχει σαν βασικά δομικά χαρακτηριστικά αυτά που φαίνονται στον πίνακα 1 :

RDF Schema Features	(In)Equality	Property Characteristics
<ul style="list-style-type: none"> • Class (Thing, Nothing) • rdfs:subClassOf • rdf:Property • rdfs:subPropertyOf • rdfs:domain • rdfs:range • Individual 	<ul style="list-style-type: none"> • equivalentClass • equivalentProperty • sameAs • differentFrom • AllDifferent • distinctMembers 	<ul style="list-style-type: none"> • ObjectProperty • DatatypeProperty • inverseOf • TransitiveProperty • SymmetricProperty

		<ul style="list-style-type: none"> • FunctionalProperty • InverseFunctionalProperty
--	--	---

Property Restrictions	Restricted Cardinality	Header Information
<ul style="list-style-type: none"> • Restriction • onProperty • allValuesFrom • someValuesFrom 	<ul style="list-style-type: none"> • minCardinality (only 0 or 1) • maxCardinality (only 0 or 1) • cardinality (only 0 or 1) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ontology • imports
Class Intersection	Versioning	Annotation Properties
<ul style="list-style-type: none"> • intersectionOf 	<ul style="list-style-type: none"> • versionInfo • priorVersion • backwardCompatibleWith • incompatibleWith • DeprecatedClass • DeprecatedProperty 	<ul style="list-style-type: none"> • rdfs:label • rdfs:comment • rdfs:seeAlso • rdfs:isDefinedBy • AnnotationProperty • OntologyProperty
Datatypes		
<ul style="list-style-type: none"> • xsd datatypes 		

Πίνακας 1: Βασικά δομικά χαρακτηριστικά της OWL-Lite.

2.2.2 Βασικές ιδιότητες της OWL Lite

2.2.2.1 Κύρια χαρακτηριστικά της OWL-RDFS

Class: Μία κλάση περιέχει ένα σύνολο ατόμων τα οποία έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά.

rdfs:subclassOf: Είναι μια ιδιότητα η οποία προσδίδει ιεραρχία στις κλάσεις. Για παράδειγμα αν ένα άτομο είναι τύπου A και η A είναι υποκλάση της B τότε συνεπάγεται ότι το άτομο είναι και αυτό τύπου B.

rdfs:domain: Η ιδιότητα αυτή περιορίζει το πλήθος των ατόμων στα οποία μπορεί να αποδοθεί η ιδιότητα αυτή.

rdfs:range: Η ιδιότητα αυτή περιορίζει το σύνολο τιμών το οποίο μπορεί να έχει η ιδιότητα.

2.2.2.2 Χαρακτηριστικά ισότητας – ανισότητας της OWL Lite

equivalentClass: Η ιδιότητα αυτή προσδίδει ισότητα μεταξύ δύο κλάσεων. Για παράδειγμα αν ένα άτομο είναι τύπου A και η κλάση A είναι ίση με την κλάση B, τότε το άτομο είναι τύπου B και αντίστροφα.

equivalentProperty: Η ιδιότητα αυτή προσδίδει ισότητα μεταξύ δύο ιδιοτήτων. Για παράδειγμα αν ένα άτομο X συνδέεται με ένα άτομο Y μέσω της σχέσης A και η σχέση A είναι ίση με τη σχέση B, τότε το άτομο συνδέεται με το Y μέσω της σχέσης B επίσης.

differentFrom: Η ιδιότητα αυτή προσδίδει ρητά σε δύο άτομα ότι είναι διαφορετικά μεταξύ τους.

2.2.2.3 Χαρακτηριστικές ιδιότητες της OWL Lite

inverseOf: Η ιδιότητα αυτή προσδίδει σε δύο σχέσεις την έννοια της αντιστροφής. Έτσι αν δύο άτομα συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση $P(a,b)$ και η σχέση Q είναι αντιστροφή της P , τότε ισχύει $Q(b,a)$.

transitiveProperty: Η ιδιότητα αυτή προσδίδει σε δύο σχέσεις την έννοια της μεταβατικότητας. Έτσι αν δύο άτομα a,b συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση $P(a,b)$ και το άτομο b συνδέεται με ένα άλλο άτομο c με τη σχέση $P(b,c)$ και η σχέση P είναι μεταβατική, τότε ισχύει $P(a,c)$.

symmetricProperty: Η ιδιότητα αυτή προσδίδει σε δύο σχέσεις την έννοια της συμμετρικότητας. Έτσι αν δύο άτομα a,b συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση $P(a,b)$ και η σχέση P είναι συμμετρική, τότε ισχύει $P(b,a)$.

2.2.2.4 OWL Lite χαρακτηριστικά περιορισμού ιδιοτήτων

someValuesFrom: Η ιδιότητα αυτή προσδίδει περιορισμό στο σύνολο τιμών της. Συγκεκριμένα, η ιδιότητα μπορεί να αποκτήσει ως τιμή τουλάχιστον ένα άτομο μιας κλάσης.

allValuesFrom: Η ιδιότητα αυτή προσδίδει περιορισμό στο σύνολο τιμών της. Συγκεκριμένα, η ιδιότητα μπορεί να αποκτήσει ως τιμή όλα τα άτομα μιας κλάσης.

2.3 Δομή της οντολογίας

Ο βασικός κορμός της εφαρμογής είναι η οντολογία της καρωτιδικής αθηροσκλήρωσης η οποία αναπτύχθηκε από τον υποψήφιο διδάκτορα Βασίλειο Κόλια και τροποποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής [26]. Η οντολογία ορίζει τους όρους οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την περιγραφή της ασθένειας καθώς και τις σχέσεις μεταξύ αυτών. Ο σχεδιασμός της έχει γίνει έτσι ώστε αφενός να προσομοιώνει όσο καλύτερα γίνεται την ασθένεια και αφετέρου να μπορεί να ανακτά αποτελεσματικά και με ακρίβεια αποτελέσματα σύνθετων ερωτημάτων [50]. Στην επόμενη ενότητα θα περιγραφούν οι βασικές κλάσεις της οντολογίας.

2.3.1 Βασικές κλάσεις της οντολογίας

Οι βασικές κλάσεις της οντολογίας είναι οι εξής:

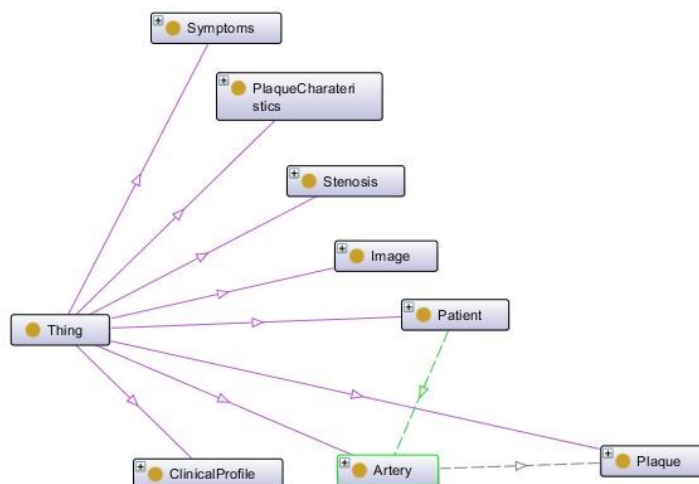
1. Κλάση **Artery**
2. Κλάση **ClinicalProfile**
3. Κλάση **Image**
4. Κλάση **Patient**
5. Κλάση **Plaque**

6. Κλάση **PlaqueCharacteristics**

7. Κλάση **Stenosis**

8. Κλάση **Symptoms**

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η οπτική αναπαράσταση των παραπάνω κλάσεων:



Εικόνα 12: Αναπαράσταση των βασικών κλάσεων της οντολογίας.

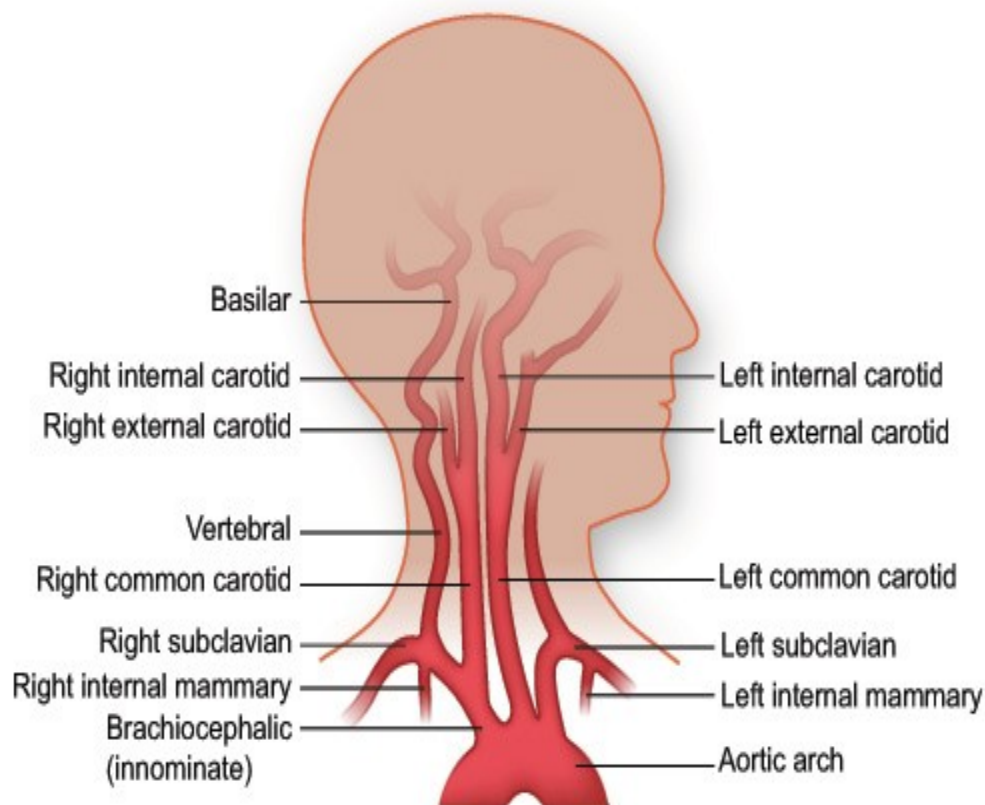
Στο σημείο αυτό θα δοθεί μια σύντομη περιγραφή της κάθε κλάσης της οντολογίας.

1.Κλάση **Artery**: Η κλάση αυτή περιγράφει τα ανατομικά χαρακτηριστικά της αρτηρίας ενός ασθενή. Συγκεκριμένα περιγράφει το βαθμό στένωσης της αρτηρίας, την κατηγοριοποίησή της σε έσω/έξω και δεξιά/αριστερή καρωτιδική ή σπονδυλική αρτηρία. Αναλυτικά η κλάση αυτή περιέχει τις εξής υπο-κλάσεις:

- ArteryPlaqueType1
- ArteryPlaqueType2
- ArteryPlaqueType3
- ArteryPlaqueType4
- ArteryPlaqueType5
- LowStenosisArtery
- MediumStenosisArtery
- HighStenosisArtery
- LCCA(Left Common Carotid Artery)
- LECA(Left External Carotid Artery)

- LICA(Left Internal Carotid Artery)
- LVA(Left Vertebral Artery)
- RCCA(Right Common Carotid Artery)
- RECA(Right External Carotid Artery)
- RICA(Right Internal Carotid Artery)
- RVA(Right Vertebral Artery)
- VulnerableArtery

Οι πρώτες 5 υπο-κλάσεις δηλώνουν τον τύπο της αρτηριακής πλάκας του ασθενή, ενώ οι επόμενες 3 περιγράφουν το βαθμό στένωσης της αρτηρίας ο οποίος χωρίζεται σε χαμηλό, μεσαίο και υψηλό. Στις επόμενες κλάσεις ορίζεται η εντόπιση της καρωτιδικής αρτηρίας στο σώμα. Οι καρωτίδες χωρίζονται σε αριστερή και δεξιά κοινή καρωτιδική αρτηρία. Οι αρτηρίες αυτές πριν καταλήξουν στο κεφάλι υπόκεινται σε ένα δεύτερο διαχωρισμό ο οποίος είναι οι εσωτερικές και εξωτερικές. Έτσι κάθε μία από τις κοινές καρωτιδικές αρτηρίες χωρίζεται σε έσω και έξω καρωτιδική αρτηρία. Επιπλέον, σημειώνεται αν η αθηροσκλήρωση εντοπίζεται στη σπονδυλική αρτηρία η οποία χωρίζεται σε αριστερή και δεξιά. Στην εικόνα 14 φαίνεται η οπτική αναπαράσταση των υπο-κλάσεων της κλάσης Artery.

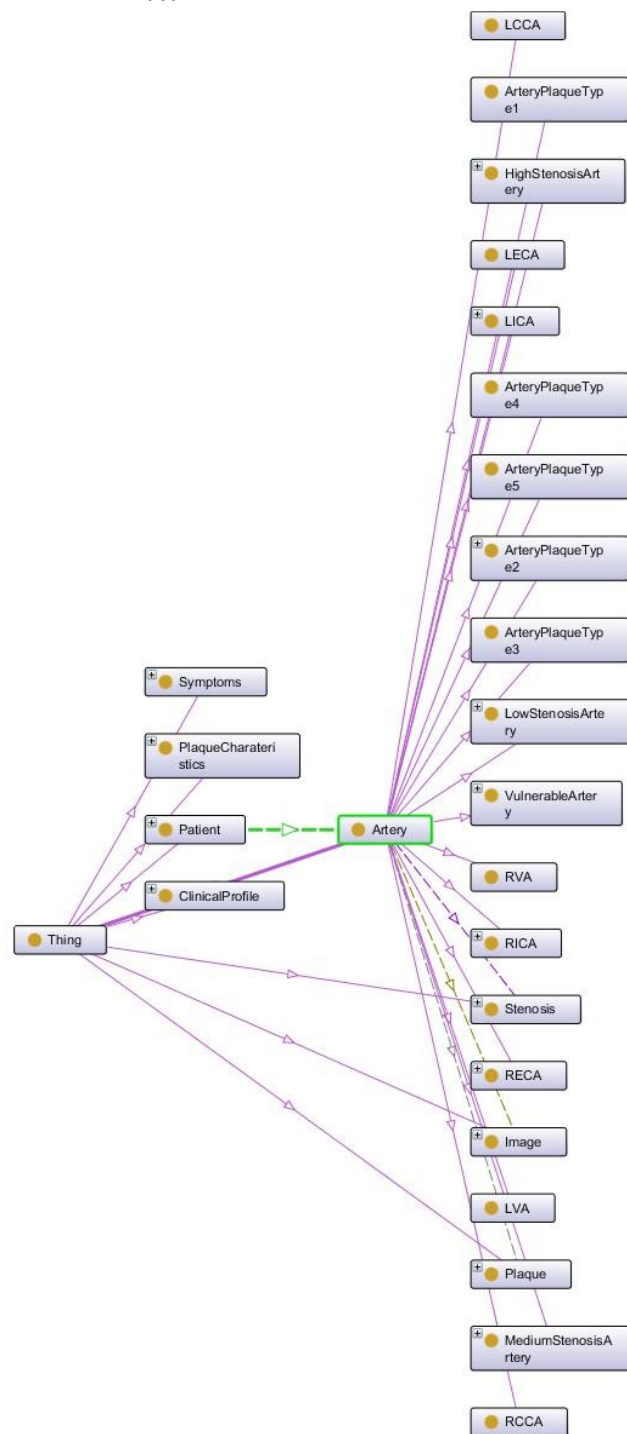


Εικόνα 13: Απεικόνιση των αρτηριών που καταλήγουν στον αυχένα και το κεφάλι⁷.

2.Κλάση *ClinicalProfile*: Η κλάση αυτή περιγράφει το κλινικό προφίλ του ασθενή και σημειώνει μεταξύ άλλων το επίπεδο μάζας σώματος, χοληστερόλης, σακχάρου και καρδιακού ρυθμού. Στην

⁷ <http://www.sbadandrmc.com/our-services-patient-education/ultrasounds-85ea/carotid-ultrasound/>

κλάση αυτή περιγράφονται όλα τα βασικά κλινικά χαρακτηριστικά του ασθενή μαζί με τα αντίστοιχα επίπεδά τους, όπου αυτά υπάρχουν.



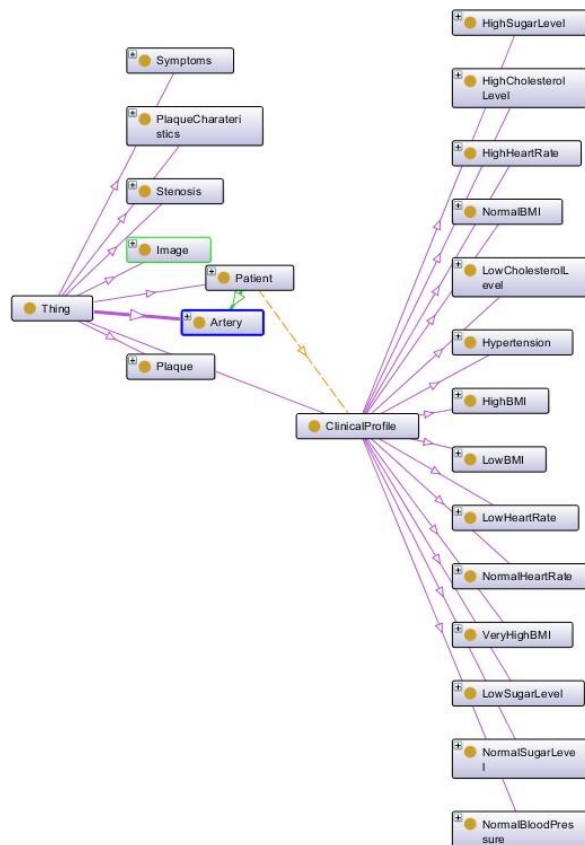
Εικόνα 14: Προβολή υπο-κλάσεων της κλάσης Artery.

Συγκεκριμένα οι υπο-κλάσεις που ανήκουν στη συγκεκριμένη κλάση είναι οι εξής:

- LowBMI
- NormalBMI
- HighBMI
- VeryHighBMI

- LowCholesterolLevel
- HighCholesterolLevel
- LowSugarLevel
- NormalSugarLevel
- HighSugarLevel
- LowHeartRate
- NormalHeartRate
- HighHeartRate
- NormalBloodPressure
- Hypertension

Στην εικόνα 15 φαίνεται η οπτική παρουσίαση των υπο-κλάσεων.



Εικόνα 15: Προβολή υπο-κλάσεων της κλάσης ClinicalProfile.

3.Κλάση Image: Η κλάση αυτή χρησιμοποιείται για να αποθηκεύσει την εικόνα του ασθενή.

4.Κλάση Patient: Η κλάση αυτή περιγράφει τον τύπο του ασθενή με βάση τα κριτήρια με τα οποία έχει δηλωθεί στο σύστημα. Οι υπο-κλάσεις της περιέχουν αξιώματα με τα οποία μία εγγραφή μέσα στο σύστημα εντάσσεται μέσα από λογικά συμπεράσματα ως πιθανό στιγμιότυπο των παρακάτω υπο-κλάσεων:

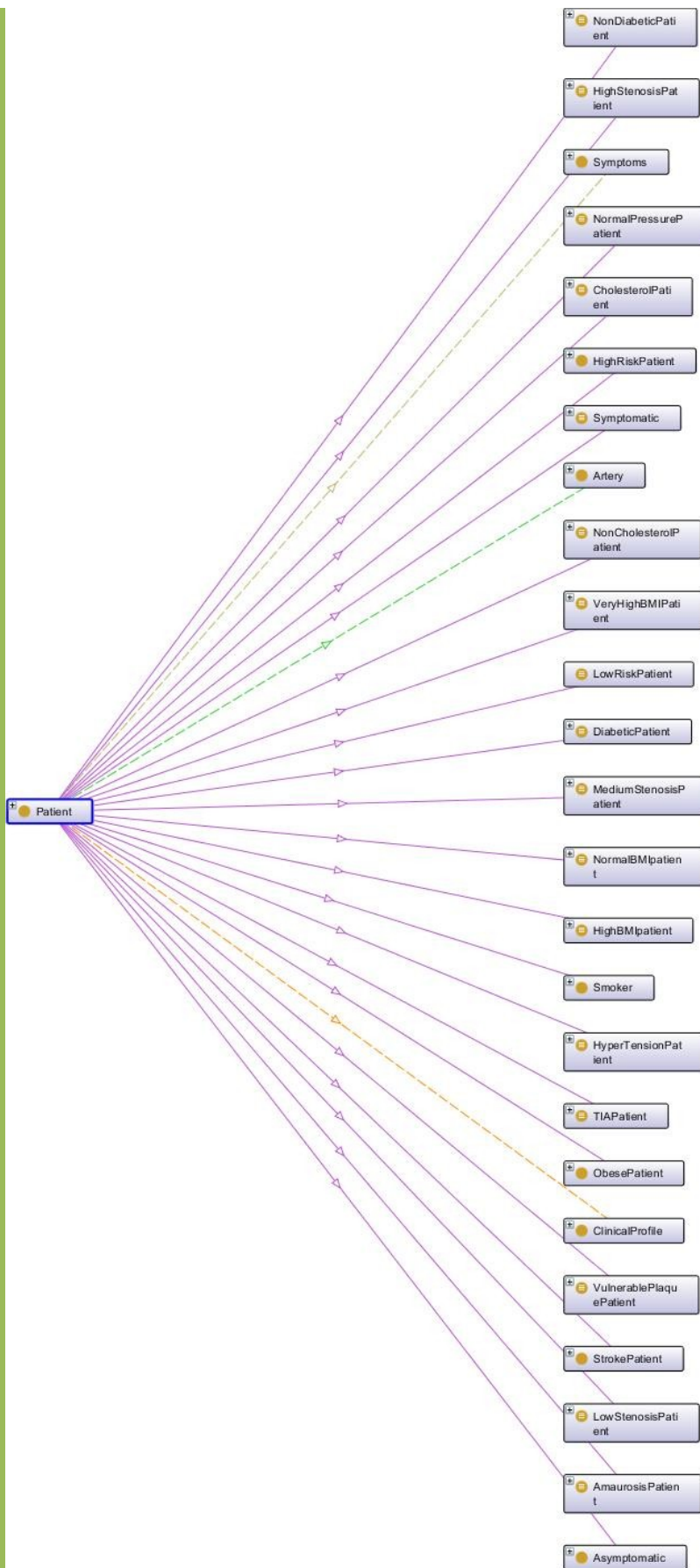
- AmaurosisPatient
- Asymptomatic
- CholesterolPatient
- DiabeticPatient
- VeryHighBMIPatient
- HighBMIPatient
- NormalBMIPatient
- LowBMIPatient
- LowStenosisPatient
- MediumStenosisPatient
- HighStenosisPatient
- NormalPressurePatient
- ObesePatient
- StrokePatient
- Symptomatic
- TIAPatient
- HyperTensionPatient
- LowRiskPatient
- HighRiskPatient
- VulnerablePlaquePatient

Στο σημείο αυτό παρατίθενται τα αξιώματα ισοδυναμίας που διέπουν κάθε υπο-κλάση της κλάσης Patient. Κάθε υπο-κλάση φαίνεται στον πίνακα 2 με την αντίστοιχη ιδιότητα *equivalentClass*. Η ιδιότητα αυτή, όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, προσδίδει ισότητα μεταξύ δύο κλάσεων.

5.Κλάση **Plaque**: Η κλάση αυτή περιέχει τις εξής υποκλάσεις,

- HardPlaque

- SoftPlaque
- Vulnerable
- NonVulnerable



Εικόνα 16: Προβολή υπο-κλάσεων της κλάσης Patient.

Class	Equivalent Class
AmaurosisPatient	hasSymptoms some Amaurosis
CholesterolPatient	hasClinical some HighCholesterolLevel
DiabeticPatient	hasClinical some HighSugarLevel
HighBMIPatient	hasClinical some HighBMILevel
HypertensionPatient	hasClinical some HyperTension
HighRiskClinicalPatient	CholesterolPatient and DiabeticPatient and HyperTensionPatient
HighStenosisPatient	hasArtery some HighStenosisArtery
LowStenosisPatient	hasArtery some LowStenosisArtery
MediumStenosisPatient	hasArtery some MediumStenosisArtery
NonCholesterolPatient	hasClinical some LowCholesterolLevel
NonDiabeticPatient	hasClinical some LowSugarLevel
NormalBMIPatient	hasClinical some NormalBMILevel
NormalPressurePatient	hasClinical some NormalBloodPressure
ObesePatient	hasClinical some HighBMILevel or hasClinical some VeryHighBMILevel
StrokePatient	hasSymptoms some Stroke
VulnerablePlaquePatient	has Artery some VulnerableArtery
TIAPatient	hasSymptoms some TIA
VeryHighBMIPatient	hasClinical some VeryHighBMIPatient

Πίνακας 2: Ισοδύναμες κλάσεις των υπο-κλάσεων της κλάσης Patient.

6.Κλάση *PlaqueCharacteristics*: Η κλάση αυτή δηλώνει τα χαρακτηριστικά της αρτηριακής πλάκας του ασθενή και συγκεκριμένα τη μορφή του περιγράμματος και τον τύπο της. Οι υπο-κλάσεις της είναι οι εξής:

- PlaqueOutline
- Plaquetype

Η κλάση PlaqueOutline έχει υπο-κλάσεις τις:

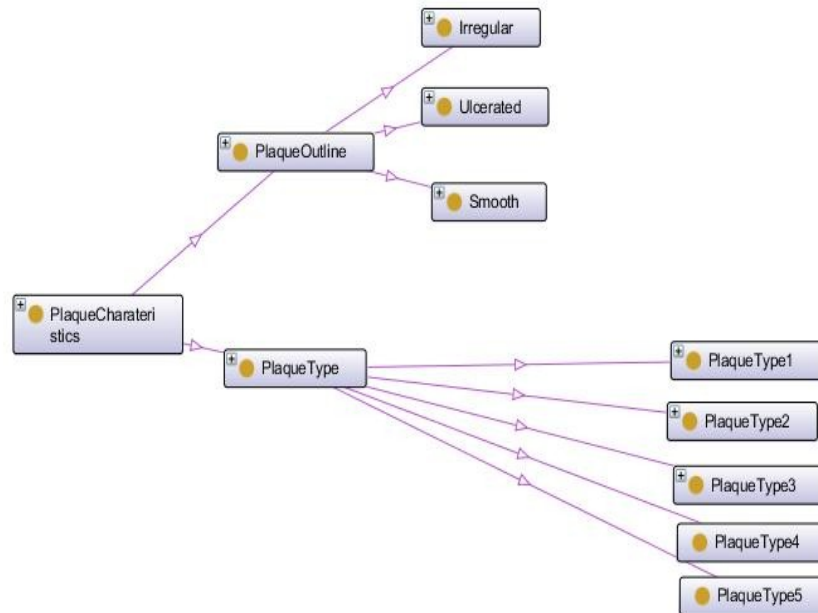
- Irregular
- Smooth
- Ulcearated

Η κλάση PlaqueType έχει υπο-κλάσεις τις:

- PlaqueType1
- PlaqueType2

- PlaqueType3
- PlaqueType4
- PlaqueType5

Η εικόνα 17 οπτικοποιεί την ιεραρχία των παραπάνω κλάσεων:



Εικόνα 17: Προβολή υπο-κλάσεων της κλάσης PlaqueCharacteristics.

7.Κλάση Stenosis: Η κλάση αυτή δηλώνει το βαθμό στένωσης της αρτηρίας και χωρίζεται σε 3 υπο-κλάσεις:

- LowStenosis
- MediumStenosis
- HighStenosis

8.Κλάση Symptoms: Η τελευταία κλάση περιγράφει τα συμπτώματα που μπορούν να εμφανιστούν στην ασθένεια της αθηροσκλήρωσης και δηλώνονται ως υπο-κλάσεις της:

- Amaurosis
- Stroke
- TIA

2.3.2 Ιδιότητες αντικειμένων της οντολογίας

Οι κύριες ιδιότητες που διέπουν τις σχέσεις μεταξύ των κλάσεων της οντολογίας φαίνονται στον πίνακα 3:

Ιδιότητες Αντικειμένου	Πεδίο ορισμού	Εύρος τιμών
hasArtery	Patient	Artery
hasClinical	Patient	ClinicalProfile
hasImage	Artery	Image
hasOutline	Plaque	PlaqueOutline
hasPlaque	Artery	Plaque
hasPlaqueCharacteristics	Plaque	PlaqueCharacteristics
hasPlaqueType	Plaque	PlaqueType
hasStenosis	Artery	Stenosis
hasSymptoms	Patient	Symptoms

Πίνακας 3: Ιδιότητες αντικειμένου οντολογίας.

2.3.3 Ιδιότητες δεδομένων της οντολογίας

Οι κύριες ιδιότητες δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξη της οντολογίας φαίνονται στον πίνακα 4:

Ιδιότητες δεδομένων	Πεδίο Ορισμού	Εύρος Τιμών
VeryHighBMILevel	VeryHighBMI	String
HighBMILevel	HighBMI	String
NormalBMILevel	NormalBMI	String
LowBMILevel	LowBMI	String
HighCholesterolLevel	HighCholesterolLevel	String
LowCholesterolLevel	LowCholesterolLevel	String
HighHeartRateLevel	HighHeartRate	String
NormalHeartRateLevel	NormalHeartRate	String
LowHeartRateLevel	LowHeartRate	String
HighStenosisArteryLevel	HighStenosisArtery	String
MediumStenosisArteryLevel	MediumStenosisArtery	String
LowStenosisArteryLevel	LowStenosisArtery	String
HighSugarLevel	HighSugarLevel	String
NormalSugarLevel	NormalSugarLevel	String
LowSugarLevel	LowSugarLevel	String

Πίνακας 4: Ιδιότητες δεδομένων οντολογίας.

Οι ιδιότητες δεδομένων χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύσουν τις τιμές των δεδομένων που χαρακτηρίζουν μια νέα εγγραφή-ασθενή στο σύστημα της οντολογίας.

Κεφάλαιο 3: Αρχιτεκτονική Συστήματος

3.1 Αρχιτεκτονική Client-Server

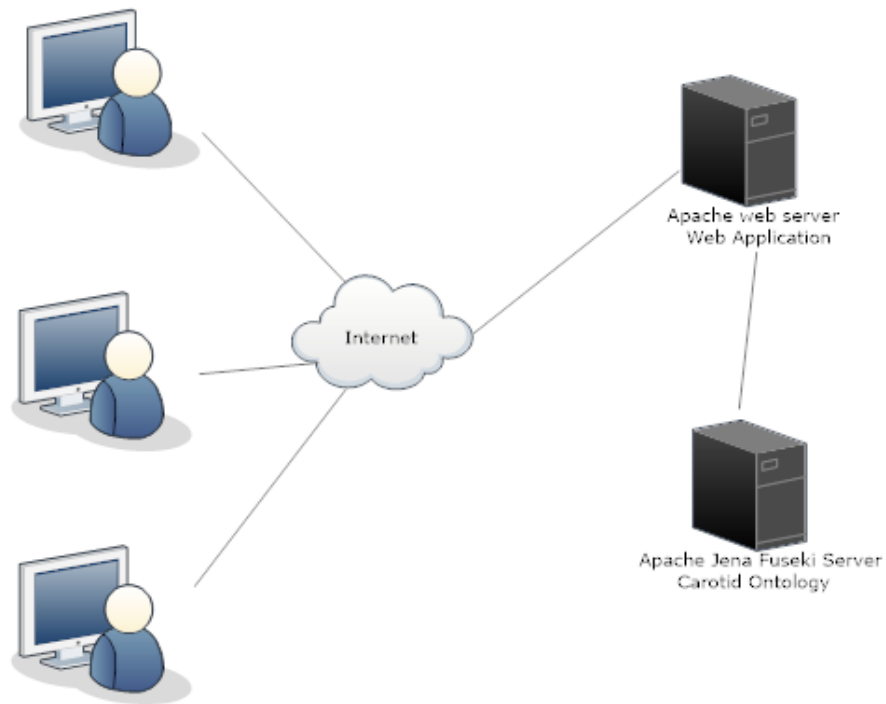
Το σύστημα της εφαρμογής-οντολογίας είναι βασισμένο στην Client-Server αρχιτεκτονική στην οποία ο χρήστης μέσω της εφαρμογής στέλνει αιτήματα στο server και «βλέπει» την ανταπόκριση του τελευταίου στο γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής. Ο server προωθεί τα αιτήματα σε ένα δεύτερο server, στον οποίο είναι εγκατεστημένη η οντολογία, και ανακτά από αυτόν τα δεδομένα που ζήτησε ο χρήστης.

Η αρχιτεκτονική Client-Server αναφέρεται σε ένα σύνολο από ελεύθερου λογισμικού εφαρμογές, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως σε διαδικτυακά περιβάλλοντα. Πιο συγκεκριμένα, η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιήθηκε απαρτίζεται από 4 στοιχεία-κλειδιά :

1. Ένα λειτουργικό σύστημα στο οποίο θα τρέχουν τα επιμέρους συστήματα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούνται τα Windows.
2. Μια βάση γνώσης.
3. Ένα web server ο οποίος στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο Apache Tomcat.
4. Μία γλώσσα προγραμματισμού για την ανάπτυξη διαδικτυακών εφαρμογών, η Java Server Pages(JSP).

Συγκεκριμένα τα συστατικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής Client-Server που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

1. Το κύριο μέρος του συστήματος είναι, όπως προαναφέρθηκε, μια βάση γνώσης [53]. Στη βάση αυτή είναι εγκαταστημένη η οντολογία, η οποία περιγράφει την καρωτιδική αθρομάτωση. Στην οντολογία αυτή εισάγονται νέες εγγραφές-ασθενείς αλλά και ανακτώνται εγγραφές οι οποίες ικανοποιούν συγκεκριμένα κριτήρια. Το σύστημα της βάσης γνώσης βρίσκεται εγκαταστημένο σε έναν δεύτερο SPARQL server, τον Apache Jena Fuseki. Ο διακομιστής αυτός προσφέρει δυνατότητες Representational State Transfer (REST) εφαρμογής υποστηρίζοντας λειτουργίες εισαγωγής, αναζήτησης και αναβάθμισης χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο SPARQL μέσω http ερωτημάτων [47]. Στην εικόνα 18 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί το σύστημα της εφαρμογής-οντολογίας.
2. Η γλώσσα προγραμματισμού η οποία χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του δυναμικού μέρους της διαδικτυακής εφαρμογής είναι η Java Server Pages (JSP). Η JSP μπορεί να περιγραφεί ως μια πιο αφηρημένη έννοια των Java Servlets ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε παράλληλα με το στατικό κομμάτι HTML κώδικα είτε ως μέρος ενός διαδικτυακού αρχιτεκτονικού μοντέλου Model-View-Controller (MVC). Στην τελευταία περίπτωση χρησιμοποιείται ως το στοιχείο view της αρχιτεκτονικής, το οποίο διαχειρίζεται την οπτική παρουσίαση της σελίδας. Στην εικόνα 19 φαίνεται ένα δείγμα μιας τέτοιας αρχιτεκτονικής.

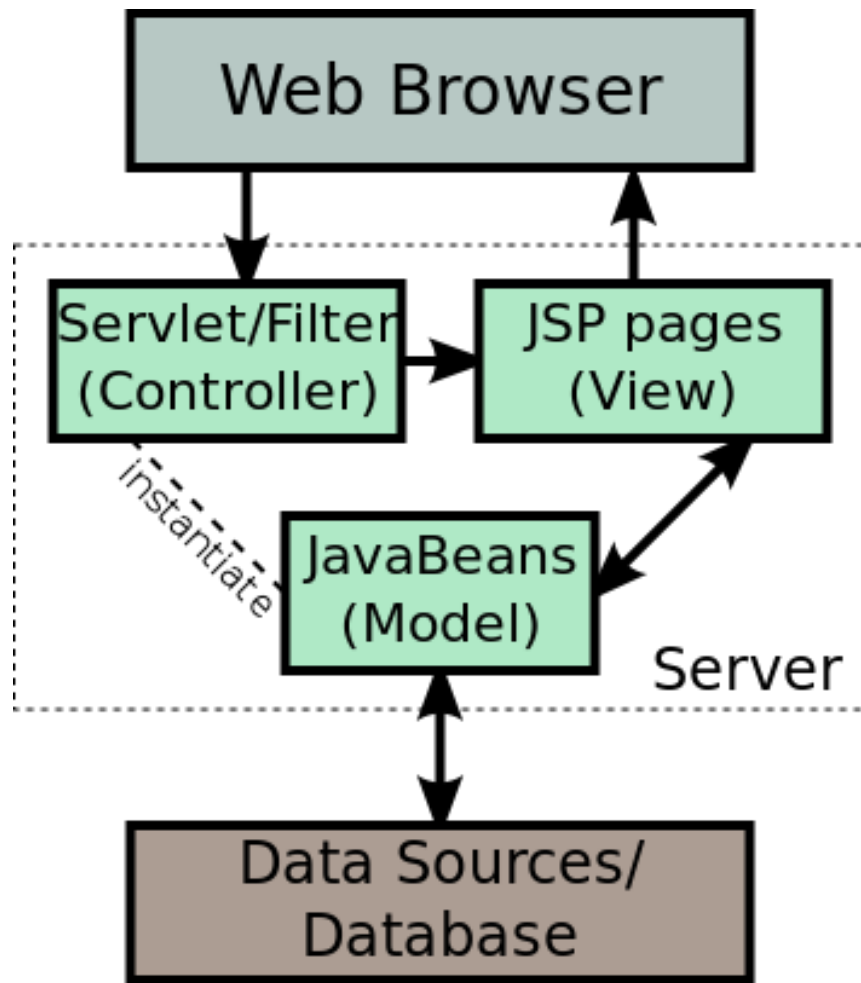


Εικόνα 18: Αρχιτεκτονική συστήματος.

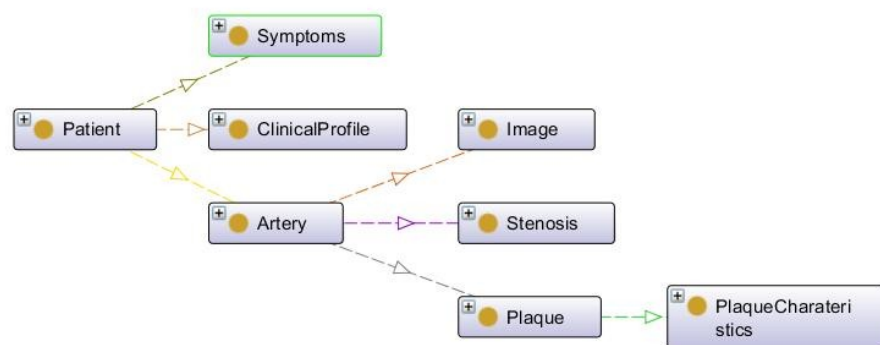
3.2 Οντολογία εφαρμογής

Ένα από τα βασικά κομμάτια του συστήματος είναι η οντολογία της καρωτίδας. Η οντολογία χωρίζεται σε 8 κύριες κλάσεις οι οποίες περιέχουν πληροφορία όπως το κλινικό ιστορικό του ασθενή, το βαθμό και τον τύπο στένωσης και τα συμπτώματα τα οποία παρουσίασε. Η πληροφορία αυτή είναι απαραίτητη έτσι ώστε η νέα εγγραφή-ασθενής στη βάση γνώσης να είναι απόλυτα ακριβής με αποτέλεσμα η εφαρμογή να μπορεί να εκτελέσει με όσο το δυνατόν περισσότερη ακρίβεια πολύπλοκα ερωτήματα και να ανακτήσει τα αποτελέσματα στην εκάστοτε σελίδα. Οι κλάσεις του συστήματος της οντολογίας της εφαρμογής είναι οι εξής:

1. Κλάση Patient
2. Κλάση Artery
3. Κλάση ClinicalProfile
4. Κλάση Symptoms
5. Κλάση Image
6. Κλάση Stenosis
7. Κλάση Plaque
8. Κλάση PlaqueCharacteristics



Εικόνα 19: MVC αρχιτεκτονική χρησιμοποιώντας τη γλώσσα JSP.



Εικόνα 20: Βασικές κλάσεις οντολογίας.

Η κλάση Patient περιγράφει την κατηγοριοποίηση του ασθενή, με βάση το κλινικό ιστορικό του, σε διαφορετικές υπο-κλάσεις. Για παράδειγμα, αν ένας ασθενής παρουσιάζει υψηλά επίπεδα σακχάρου ανήκει στους διαβητικούς ασθενείς ενώ σε περίπτωση που ο βαθμός στένωσης της καρωτίδας του είναι υψηλός ανήκει στους ασθενείς με υψηλό βαθμό στένωσης. Μία εγγραφή-ασθενής που ανήκει στην κλάση Patient συνδέεται μέσω ιδιοτήτων αντικειμένων με άλλες κύριες

κλάσεις. Οι ιδιότητες αντικειμένων συνδέουν διαφορετικές κλάσεις μεταξύ τους και προσομοιώνουν τις λογικές σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών οντοτήτων της οντολογίας. Συγκεκριμένα, ένα άτομο της κλάσης Patient συνδέεται μέσω της ιδιότητας αντικειμένου «hasSymptoms» με την κλάση Symptoms, μέσω της ιδιότητας «hasClinical» με την κλάση ClinicalProfile και αντίστοιχα μέσω της ιδιότητας «hasArtery» με την κλάση Artery.

Η κλάση ClinicalProfile περιέχει πληροφορίες σε σχέση με το κλινικό ιστορικό του ατόμου και περιγράφει χαρακτηριστικά του όπως για παράδειγμα το δείκτη μάζας σώματος, το επίπεδο χοληστερόλης, το επίπεδο σακχάρου, αν έχει παρουσιάσει υπέρταση ή αν η πίεση του αίματός του είναι φυσιολογική κτλ.

Η κλάση Artery περιγράφει ιδιότητες σχετικά με τη μορφολογία της αρτηρίας όπως για παράδειγμα τον τύπο της αρτηριακής πλάκας και το βαθμό στένωσης της αρτηρίας. Η κλάση Artery συνδέεται μέσω των ιδιοτήτων αντικειμένων «hasImage», «hasStenosis», «hasPlaque» με τις κλάσεις Image, Stenosis και Plaque αντίστοιχα.

Η κλάση Image περιέχει πληροφορία για την DICOM εικόνα του ασθενή. Η κλάση αυτή περιέχει μια ιδιότητα δεδομένων «Image» που αποθηκεύει την τοποθεσία της DICOM εικόνας του ασθενή, την οποία ο χρήστης-ιατρός ανεβάζει στο server από τον τοπικό υπολογιστή του και με βάση την οποία συμπληρώνει τις αντίστοιχες ιδιότητες του ασθενή κατά τη διαδικασία εισαγωγής του στη βάση γνώσης.

Τέλος, η κλάση Stenosis περιέχει πληροφορία σχετικά με το βαθμό στένωσης της αρτηρίας ενώ η κλάση Plaque περιγράφει την αθηροσκληρωτική πλάκα όπως για παράδειγμα τον τύπο στον οποίο ανήκει. Η κλάση Plaque συνδέεται μέσω της ιδιότητας αντικειμένου «hasPlaqueCharacteristics» με την κλάση PlaqueCharacteristics η οποία περιγράφει με περισσότερη λεπτομέρεια τη μορφολογία της πλάκας.

3.3 Σχεδιασμός και υλοποίηση του συστήματος

Όπως προαναφέρθηκε το σύστημα είναι βασισμένο στην Client-Server αρχιτεκτονική με ενσωματωμένες τεχνολογίες σημασιολογικού ιστού. Συγκεκριμένα οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι παρακάτω:

- Το λειτουργικό σύστημα του host server στον οποίο τρέχουν όλα τα επιμέρους συστήματα και η εφαρμογή είναι τα Windows 7.
- Ο web server είναι ο Apache Tomcat 8.0.20 ο οποίος αποτελεί έναν Java Http web Server και χρησιμοποιείται ευρύτατα στην ανάπτυξη διαδικτυακών εφαρμογών που έχουν ως γλώσσα προγραμματισμού τη Java.
- Η βάση γνώσης με την οντολογία είναι εγκαταστημένη ως ένα μόνιμο σύνολο δεδομένων του Apache Jena Fuseki SPARQL server. Η έκδοση του Fuseki η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι η Apache-Jena-2.3.0 και αποτελεί την τελευταία έκδοση κατά την παρούσα χρονική στιγμή εκπόνησης της διπλωματικής. Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά με περισσότερη λεπτομέρεια στον τρόπο με τον οποίο ενσωματώθηκε η οντολογία στο μόνιμο σύνολο δεδομένων του Fuseki.
- Για την ενσωμάτωση των τεχνολογιών σημασιολογικού ιστού στην αρχιτεκτονική του συστήματος χρησιμοποιήθηκε το Jena framework και συγκεκριμένα η έκδοση 2.13.0. Το Jena είναι ένα framework το οποίο υποστηρίζει την υλοποίηση εφαρμογών που ενσωματώνουν τεχνολογίες σημασιολογικού ιστού χρησιμοποιώντας σαν γλώσσα προγραμματισμού τη Java. Το συγκεκριμένο framework επιλέχθηκε καθώς, όπως προαναφέρθηκε, για την ανάπτυξη του δυναμικού μέρους της εφαρμογής

χρησιμοποιήθηκε η JSP που είναι εξίσου βασισμένη στην ίδια γλώσσα. Το Jena παρέχει τη δυνατότητα τόσο προσθήκης ενός νέου ατόμου στην οντολογία όσο και επεξεργασίας των ιδιοτήτων ενός ήδη υπάρχοντος ατόμου καθώς και τη δυνατότητα εκτέλεσης SPARQL ερωτημάτων με σκοπό την ανάκτηση ατόμων που πληρούν κάποια επιθυμητά κριτήρια. Η εισαγωγή των νέων ατόμων στην οντολογία γίνεται με τον εξής τρόπο: Αρχικά συλλέγονται όλα τα χαρακτηριστικά του νέου ατόμου και στη συνέχεια δημιουργείται ένα νέο άτομο (individual) με τις κατάλληλες ιδιότητες και εγγράφεται στο αρχείο της οντολογίας μέσω των μεθόδων που παρέχει το Jena. Εν συνεχεία το αρχείο της οντολογίας με τα ανανεωμένα δεδομένα φορτώνεται στο Fuseki. Στη διαδικασία αυτή η εναλλακτική λύση θα ήταν να εκτελεστούν ξεχωριστά SPARQL ερωτήματα για κάθε μία ιδιότητα του νέου ατόμου κατευθείαν στον Fuseki server. Η λύση αυτή δεν επιλέχθηκε καθώς θα υπερφόρτωνε πολύ το σύστημα σε περίπτωση ταυτόχρονης προσθήκης πολλών εγγραφών από διαφορετικούς χρήστες. Κατά την ανάκτηση εγγραφών από την οντολογία υπήρχαν δύο εναλλακτικοί τρόποι:

- Ανάκτηση των εγγραφών με τη χρήση reasoner κατευθείαν από το αρχείο της οντολογίας.
- Ανάκτηση των εγγραφών με σύνδεση της εφαρμογής κατευθείαν στο Fuseki και εκτέλεση των SPARQL ερωτημάτων στη REST εφαρμογή που υποστηρίζει.

Αρχικά είχε επιλεγεί ο πρώτος τρόπος βάσει του οποίου η αναζήτηση και ανάκτηση των αποτελεσμάτων των ερωτημάτων γινόταν κατευθείαν στο αρχείο της οντολογίας. Συγκεκριμένα μέσω του Jena εισαγόταν το αρχείο στην κατάλληλη μορφή, ως ένα Jena OntModel, και τα SPARQL ερωτήματα εκτελούνταν πάνω στο μοντέλο αυτό τοπικά. Η σχεδιαστική λύση αυτή δεν ήταν αποδοτική καθώς ο χρόνος της αναζήτησης για οποιοδήποτε ερώτημα ήταν απαγορευτικά μεγάλος. Για το λόγο αυτό η διαδικασία ανάκτησης εγγραφών τροποποιήθηκε σύμφωνα με το δεύτερο τρόπο. Με την πυρόδοτηση μιας νέας αναζήτησης, μέσω των κατάλληλων μεθόδων του Jena, γίνεται σύνδεση στη REST εφαρμογή του server και εκτελείται το ερώτημα. Στην εικόνα 21 φαίνεται ένα δείγμα κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για να εκτελέσει η παραπάνω διαδικασία.

```
public static ResultSet searchClassFromInstance(String klasi){
    String serviceURI = "http://localhost:3030/carotidApp/sparql";
    ResultSet results=null;
    String queryExec="PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> "
        +"prefix owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> "
        +"prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> "
        +"SELECT ?name WHERE { ?name rdf:type <"+ns+klasi+"> . filter(!isBlank(?name))}";

    System.out.println(queryExec);
    try{
        Query query=QueryFactory.create(queryExec);
        QueryExecution qexec=QueryExecutionFactory.sparqlService(serviceURI, query);

        results = qexec.execSelect();
    }finally{}
    return results;
}
```

Εικόνα 21: Σύνδεση στο Fuseki server για την εκτέλεση SPARQL ερωτήματος μέσω του Jena framework.

Με τον τρόπο αυτό ο χρόνος απόκρισης των ερωτημάτων βελτιώθηκε εκθετικά, ανεξάρτητα από την πολυπλοκότητα των ερωτημάτων που εκτελούνταν.

3.4 Διάρθρωση του συστήματος

3.4.1 Διάρθρωση του Apache Jena Fuseki SPARQL Server

Ο Apache Jena Fuseki αποτελεί έναν SPARQL server ανοιχτού λογισμικού ο οποίος ακολουθεί το SPARQL πρωτόκολλο για την αποδοχή και εξυπηρέτηση HTTP αιτημάτων. Αποτελείται από ένα αριθμό από επιμέρους υπηρεσίες οι οποίες ακολουθούν το πρότυπο των REST εφαρμογών. Οι υπηρεσίες είναι οι εξής:

- Ανέβασμα αρχείου (<http://localhost:3030/carotidApp/upload>). Χρησιμοποιώντας τον σύνδεσμο αυτό δίνεται η δυνατότητα ανεβάσματος ενός αρχείου σε μορφή RDF, RDF/XML, TRiG.
- Πρωτόκολλο Αποθήκευσης Γράφου Δεδομένων (<http://localhost:3030/carotidApp/data>). Χρησιμοποιώντας το σύνδεσμο αυτό δίνεται πρόσβαση για αποθήκευση του ενός γράφου δεδομένων σε μορφή RDF.
- SPARQL ερωτήματα (<http://localhost:3030/carotidApp/query>). Χρησιμοποιώντας το σύνδεσμο αυτό παρέχεται πρόσβαση στο σύνολο δεδομένων για την εκτέλεση SPARQL ερωτημάτων.
- SPARQL ερωτήματα (<http://localhost:3030/carotidApp/sparql>). Χρησιμοποιώντας το σύνδεσμο αυτό παρέχεται πρόσβαση στο σύνολο δεδομένων για την εκτέλεση SPARQL ερωτημάτων.
- SPARQL ενημέρωση (<http://localhost:3030/carotidApp/update>). Χρησιμοποιώντας το σύνδεσμο αυτό παρέχεται πρόσβαση στο σύνολο δεδομένων για την επεξεργασία τους και την ανανέωση των ιδιοτήτων τους.

Available services

File Upload:	http://localhost:3030/carotidApp/upload
Graph Store Protocol:	http://localhost:3030/carotidApp/data
Graph Store Protocol (Read):	http://localhost:3030/carotidApp/get
HTTP Quads:	http://localhost:3030/carotidApp/
SPARQL Query:	http://localhost:3030/carotidApp/query
SPARQL Query:	http://localhost:3030/carotidApp/sparql
SPARQL Update:	http://localhost:3030/carotidApp/update

Εικόνα 22: Διαθέσιμες υπηρεσίες του Fuseki server.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα η οντολογία του συστήματος είναι αποθηκευμένη σε ένα μόνιμο σύνολο δεδομένων του Fuseki. Η διαδικασία με την οποία ο Fuseki μπορεί να εκκινήσει χρησιμοποιώντας ένα μόνιμο σύνολο δεδομένων και έναν RDF reasoner [48] είναι η εξής:

1. Μετάβαση στον υπό φάκελο `run` της έκδοσης του Jena Fuseki η οποία επιλέχθηκε.
2. Μέσα στον φάκελο αυτό γίνεται μετάβαση στον υπό φάκελο `configuration` όπου δημιουργείται ένα νέο άδειο αρχείο της μορφής `{{config_name}}.ttl` . Στην παρούσα διπλωματική εργασία το όνομα του αρχείου είναι `carotidApp.ttl` .
3. Άνοιγμα του αρχείου με ένα επεξεργαστή κειμένου και ενσωμάτωση του παρακάτω κώδικα:

```

@prefix :      <#>.
@prefix fuseki: <http://jena.apache.org/fuseki#>.
@prefix rdf:   <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>.

@prefix rdfs:  <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>.
@prefix tdb:   <http://jena.hpl.hp.com/2008/tdb#>.
@prefix ja:    <http://jena.hpl.hp.com/2005/11/Assembler#>.

[] rdf:type fuseki:Server ;
   fuseki:services (
     <#carotidApp>
   ).

## -----
## Updatable in-memory dataset.

<#carotidApp> rdf:type fuseki:Service ;
  # URI of the dataset -- http://host:port/carotidApp
  fuseki:name          "carotidApp" ;
  fuseki:serviceQuery  "sparql" ;
  fuseki:serviceQuery  "query" ;
  fuseki:serviceUpdate "update" ;
  fuseki:serviceUpload "upload" ;
  fuseki:serviceReadWriteGraphStore "data" ;
  fuseki:serviceReadGraphStore      "get" ;
  fuseki:dataset                    <#emptyDataset> ;
  .

## In-memory, initially empty.
<#emptyDataset> rdf:type ja:RDFDataset ;

      ja:defaultGraph  <#model_inf1> ;
  .

<#model_inf1> rdfs:label "Inf-model" ;
ja:reasoner
[ ja:reasonerURL
<http://jena.hpl.hp.com/2003/OWLFBRuleReasoner>;]
.

## Updatable in-memory dataset.

<#carotidApp> rdf:type fuseki:Service ;
  # URI of the dataset -- http://host:port/carotidApp
  fuseki:name          "carotidApp" ;
  fuseki:serviceQuery  "sparql" ;
  fuseki:serviceQuery  "query" ;
  fuseki:serviceUpdate "update" ;
  fuseki:serviceUpload "upload" ;

```

```

fuseki:serviceReadWriteGraphStore "data" ;
fuseki:serviceReadGraphStore      "get" ;
fuseki:dataset                      <#emptyDataset> ;
.

## In-memory, initially empty.
<#emptyDataset> rdf:type ja:RDFDataset ;

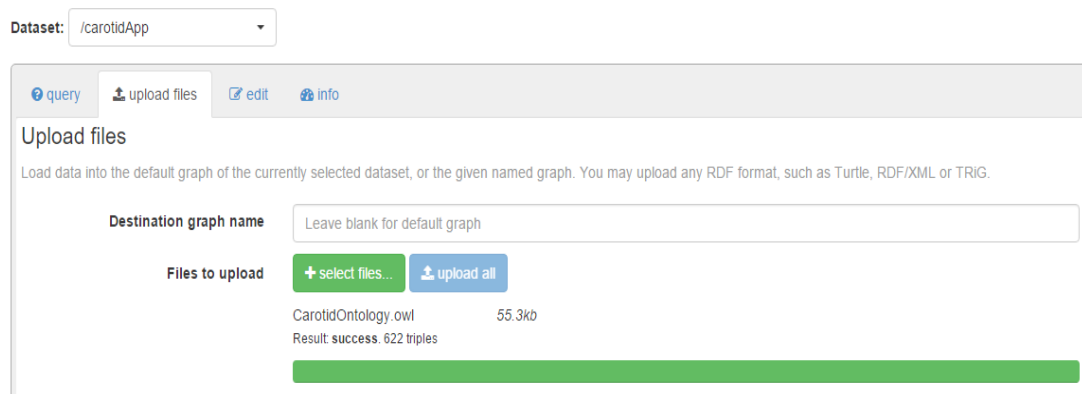
                ja:defaultGraph    <#model_inf1> ;
.

<#model_inf1> rdfs:label "Inf-model" ;
ja:reasoner
[ ja:reasonerURL
<http://jena.hpl.hp.com/2003/OWLFBRuleReasoner>;]
.

```

4. Αποθήκευση του αρχείου.
5. Εκκίνηση του Fuseki server με εκτέλεση του fuseki-server.bat αρχείου.

Με τον τρόπο αυτό έχει ενσωματωθεί στην εκκίνηση του server ένα μόνιμο άδειο σύνολο δεδομένων το οποίο υποστηρίζει reasoning. Μετά την εκκίνηση του server από το σύνδεσμο <http://localhost:3030/dataset.html?tab=upload&ds=/carotidApp> γίνεται επιλογή του owl αρχείου της οντολογίας και στη συνέχεια ανεβαίνει στο server και αποθηκεύεται στο σύνολο δεδομένων το οποίο έχει επιλεγεί. Στην εικόνα 23 φαίνεται η διαδικασία που μόλις περιεγράφηκε.



Εικόνα 23: Επιλογή και ανέβασμα του owl αρχείου της οντολογίας στο Fuseki.

3.4.2 Διάρθρωση του Apache tomcat και εκκίνηση της εφαρμογής

Η εφαρμογή εκκινείται μέσω του Apache Tomcat ο οποίος είναι κατάλληλος για διαδικτυακές εφαρμογές που βασίζονται στην γλώσσα προγραμματισμού JAVA. Η διαδικασία εκκίνησης της εφαρμογής μέσω του Apache Tomcat είναι η εξής:

1. Αρχικά γίνεται εξαγωγή ολόκληρης της εφαρμογής σε ένα αρχείο *.war .
2. Αντιγραφή του αρχείου *.war .
3. Μετακίνηση στο φάκελο εγκατάστασης του Apache Tomcat.
4. Επικόλληση του αρχείου *.war μέσα στον υπό φάκελο webapps.

5. Εκκίνηση του server μέσω του startup.bat αρχείου.
6. Πρόσβαση στην εφαρμογή μέσω του συνδέσμου <http://localhost:8080/> CarotidApp/

data	12/3/2016 2:41 μμ	Φάκελος αρχείων	
docs	15/2/2015 6:11 μμ	Φάκελος αρχείων	
examples	15/2/2015 6:11 μμ	Φάκελος αρχείων	
host-manager	15/2/2015 6:11 μμ	Φάκελος αρχείων	
manager	15/2/2015 6:11 μμ	Φάκελος αρχείων	
ROOT	21/3/2015 4:55 μμ	Φάκελος αρχείων	
CarotidApp.war	5/12/2015 7:33 μμ	Αρχείο WAR	1.989 KB

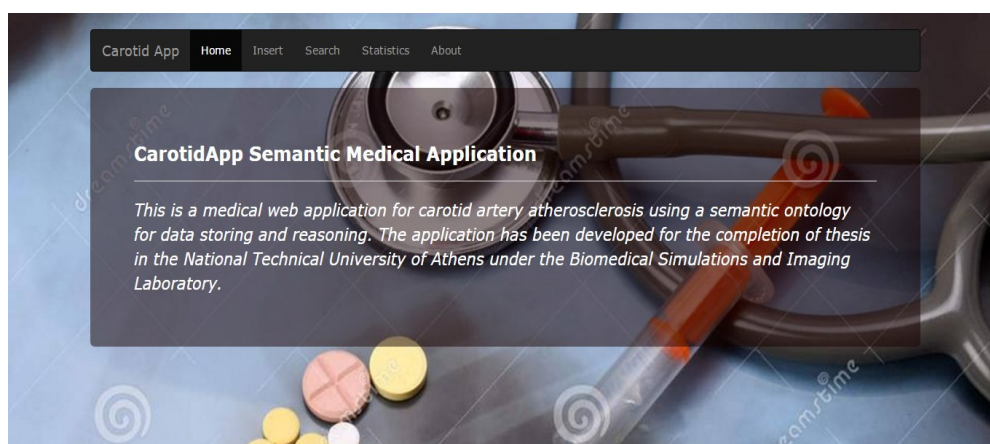
Εικόνα 24: Προσθήκη του *.war αρχείου στον υπό φάκελο webapps του Apache Tomcat.

Κεφάλαιο 4: Διαδικτυακή εφαρμογή για την εισαγωγή και ανάκτηση εγγραφών από την οντολογία της καρωτίδας

4.1 Γενική παρουσίαση της εφαρμογής

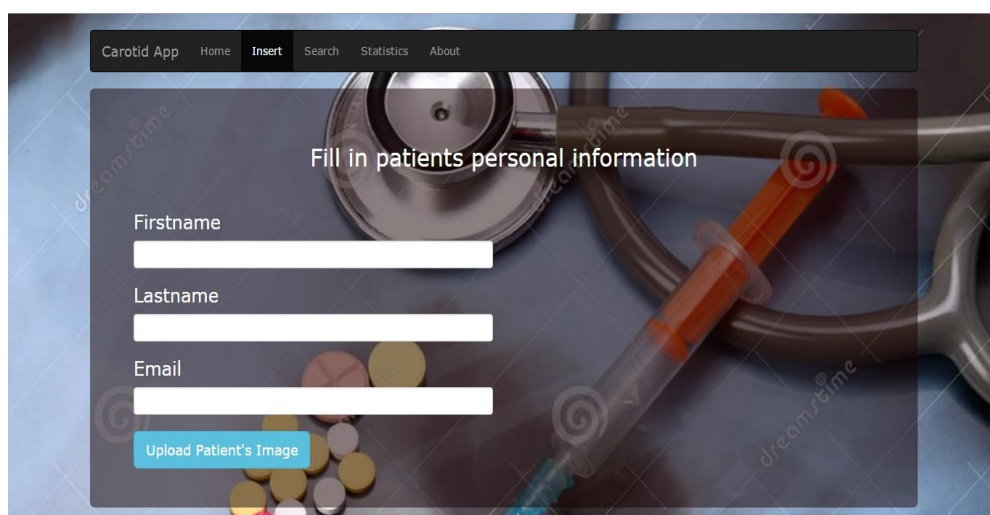
Η εφαρμογή αποτελείται στη γενική δομή της από 5 κύριες σελίδες οι οποίες είναι οι εξής:

1. **Home tab:** Στην σελίδα αυτή δίνεται μια γενική περιγραφή της εφαρμογής.



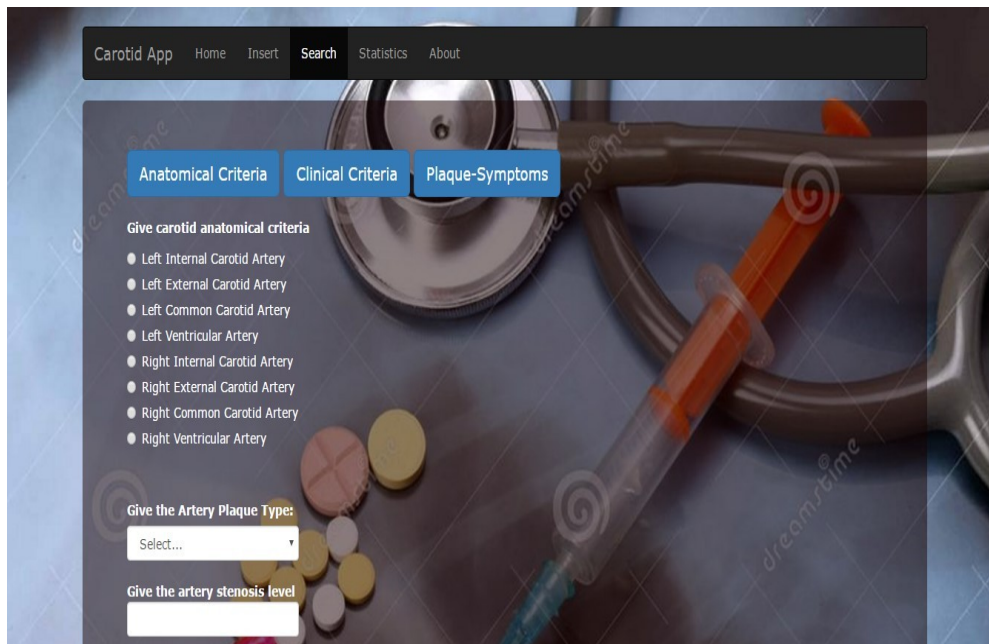
Εικόνα 25: Παρουσίαση του Home tab της εφαρμογής.

2. **Insert tab:** Στην σελίδα αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα εισαγωγής νέων ασθενών στο σύστημα. Η διαδικασία εισαγωγής θα αναλυθεί στη συνέχεια.



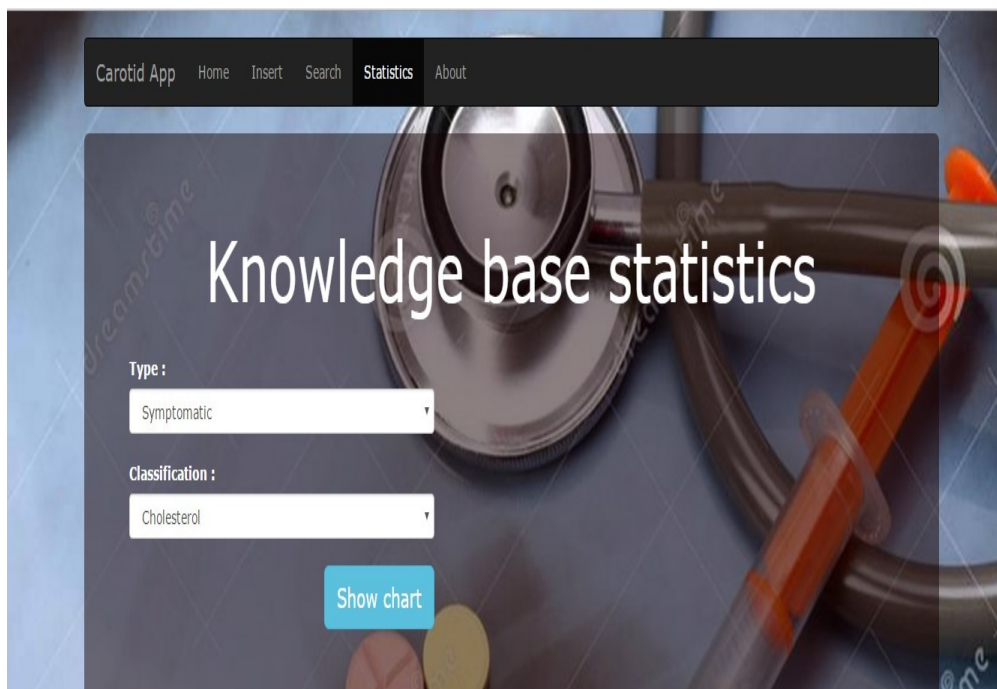
Εικόνα 26: Παρουσίαση του Insert tab της εφαρμογής.

3. **Search tab:** Στην σελίδα αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα αναζήτησης και ανάκτησης εγγραφών-ασθενών. Στη συνέχεια μπορεί να πλοηγηθεί στα διαφορετικά προφίλ ασθενών τα οποία αποτελούν αποτελέσματα της αναζήτησης. Στη συνέχεια θα αναλυθεί περισσότερο η διαδικασία της αναζήτησης.



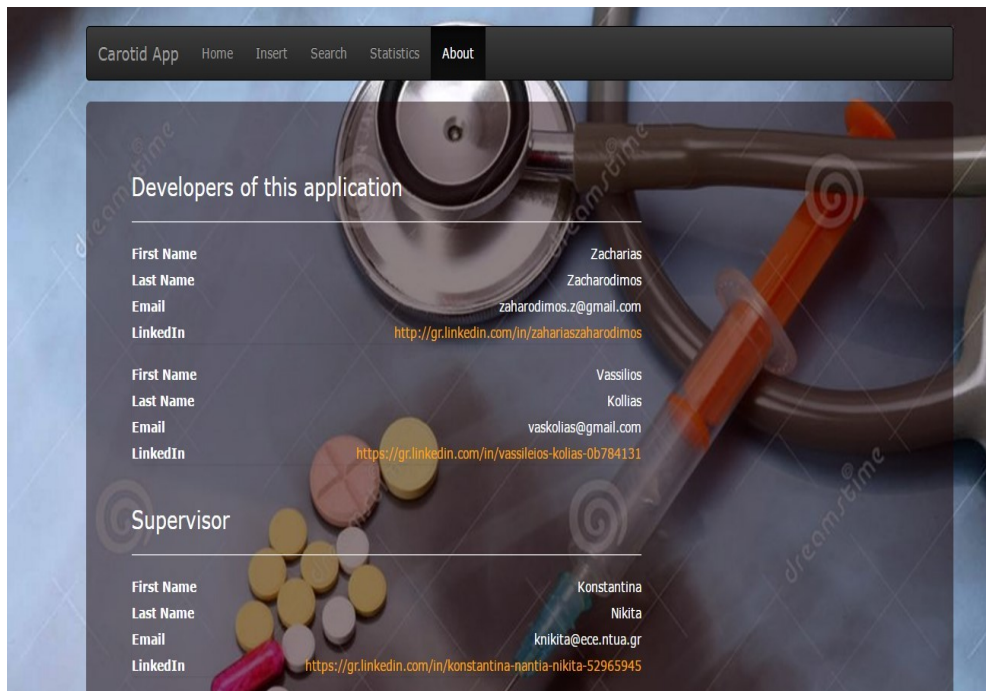
Εικόνα 27: Παρουσίαση του Search tab της εφαρμογής..

4. **Statistics tab:** Στην σελίδα αυτή ο χρήστης μπορεί να δει στατιστικά γραφήματα τα οποία υποδεικνύουν το ποσοστό των εγγραφών στο σύστημα σε σχέση με συγκεκριμένα ιατρικά κριτήρια όπως για παράδειγμα τα επίπεδα χοληστερόλης, σακχάρου και δείκτη μάζας σώματος.



Εικόνα 28: Παρουσίαση του Statistics tab της εφαρμογής.

5. **About tab:** Στην σελίδα αυτή δίνονται πληροφορίες σχετικά με τους συμμετέχοντες στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 29: Παρουσίαση του About tab της εφαρμογής.

Στην εικόνα 30 φαίνεται μια γενική εικόνα του χάρτη της εφαρμογής όπως παρουσιάστηκε πιο πάνω ενώ στην εικόνα 31 φαίνεται ένα διάγραμμα ροής των κύριων σελίδων της εφαρμογής.

4.2 Σενάρια χρήσης της εφαρμογής

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα σημαντικότερα σενάρια χρήσης της εφαρμογής τα οποία είναι τα εξής:

- Εισαγωγή ενός νέου ασθενή στο σύστημα.
- Αναζήτηση ασθενών παρόμοιου ιατρικού προφίλ βάσει των κριτηρίων αναζήτησης.
- Παρουσίαση στατιστικών γραφημάτων.

Για κάθε μία από τις προαναφερθείσες ενότητες θα δοθεί λεπτομερής περιγραφή με εικόνες και διαγράμματα ροής.

4.2.1 Εισαγωγή νέου ασθενή

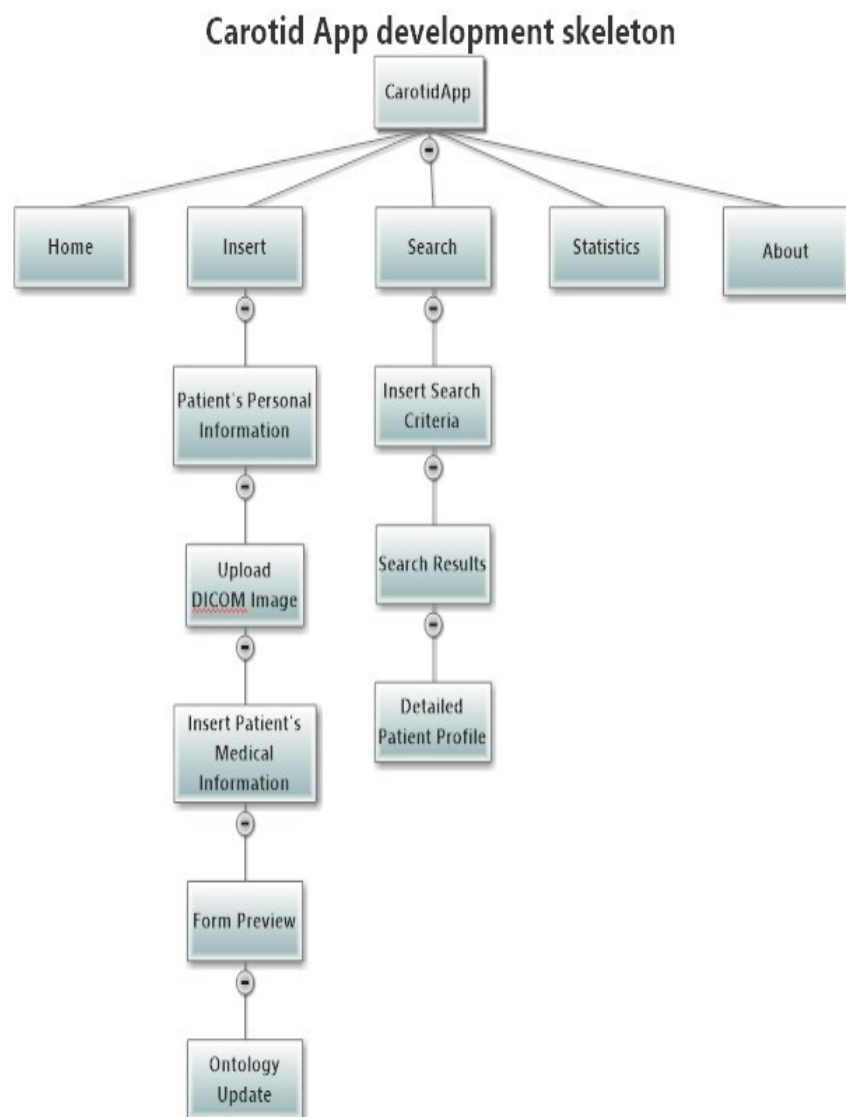
4.2.1.1 Υλοποίηση της διαδικασίας εισαγωγής

Μία από τις κύριες λειτουργίες της εφαρμογής είναι η δυνατότητα ενός χρήστη να εισάγει στην οντολογία του συστήματος έναν νέο ασθενή ο οποίος πάσχει από καρωτιδική αθηρωμάτωση. Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί επιγραμματικά είναι η εξής:

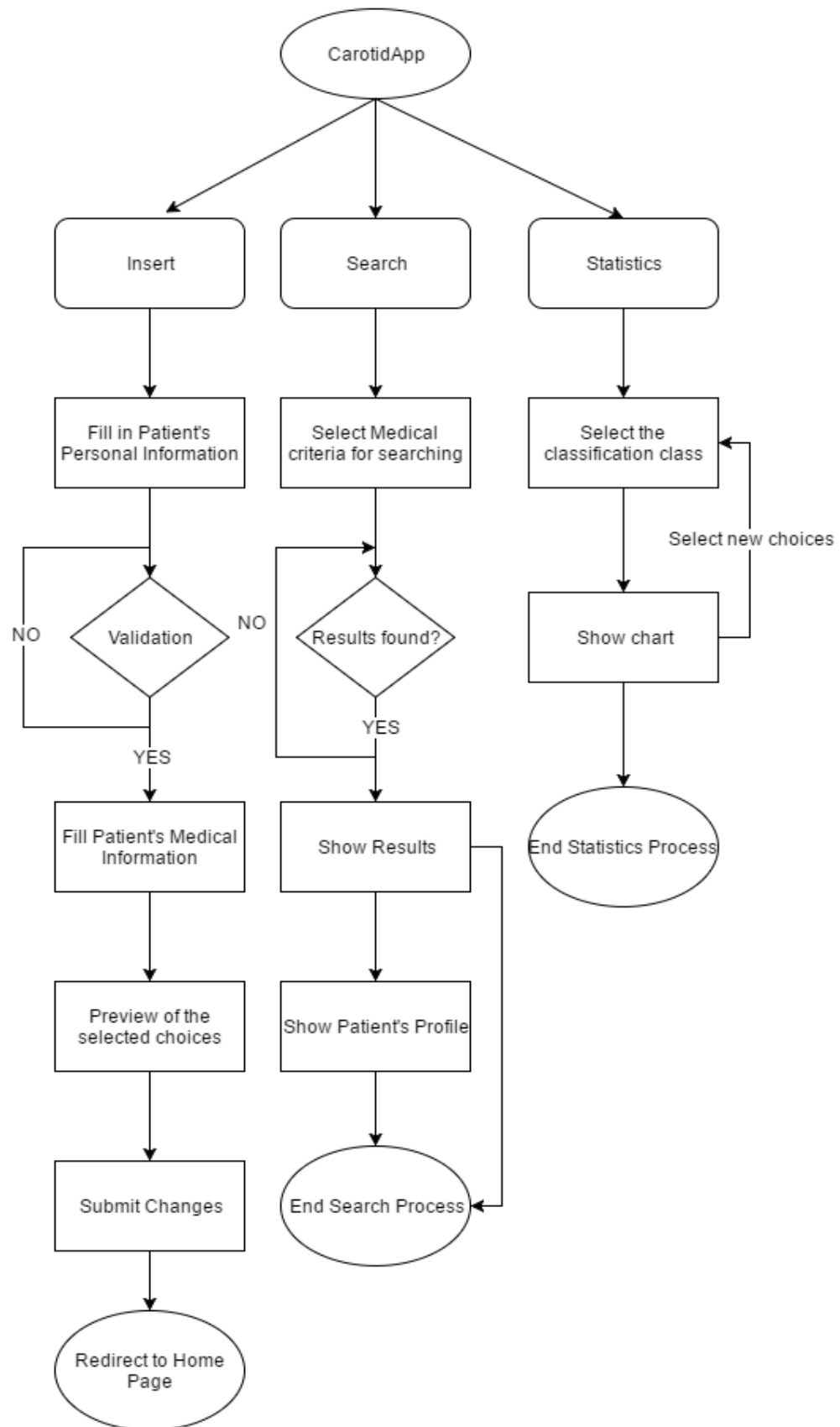
- Εισαγωγή προσωπικών πληροφοριών του ασθενή και συγκεκριμένα του ονόματός του, του επωνύμου του και της διεύθυνσης ηλεκτρονικού ταχυδρομείου του. Το τελευταίο

χρειάζεται ώστε η εγγραφή- ασθενής να είναι μοναδικά ορισμένη στο σύστημα της οντολογίας.

- Ανέβασμα της ιατρικής εικόνας του ασθενή σε μορφή DICOM η οποία αποθηκεύεται ως ιδιότητα δεδομένων(data property) της νέας εγγραφής – ασθενή στην οντολογία και στο server στον οποίο είναι εγκαταστημένη η εφαρμογή.
- Εισαγωγή ιατρικών πληροφοριών που σχετίζονται με τον ασθενή που πρόκειται να εισαχθεί.
- Προεπισκόπηση των δεδομένων που έχουν επιλεγθεί.
- Τελική υποβολή των δεδομένων και εισαγωγή της νέας εγγραφής στην οντολογία του συστήματος.

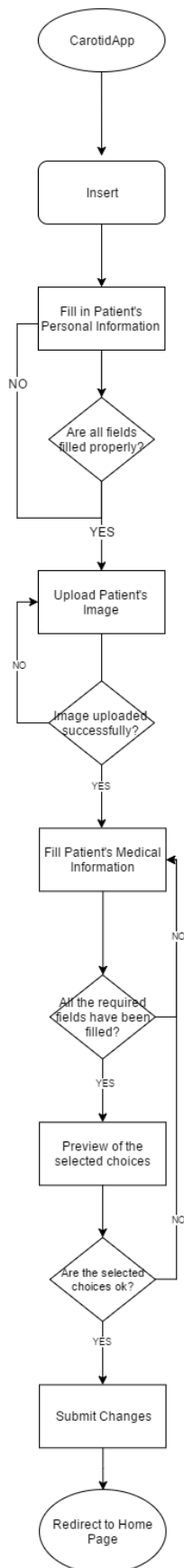


Εικόνα 30: Παρουσίαση του γενικού χάρτη της εφαρμογής.



Εικόνα 31: Παρουσίαση του γενικού διαγράμματος ροής της εφαρμογής.

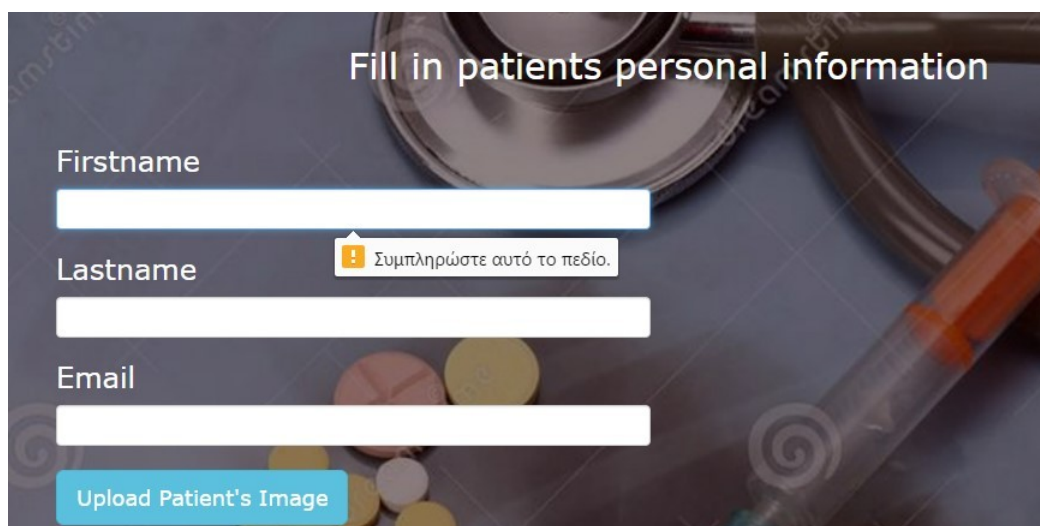
Στην 32 φαίνεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας εισαγωγής ενός νέου ασθενή. Στις επόμενες παραγράφους θα αναλυθεί λεπτομερώς η διαδικασία αυτή.



Εικόνα 32: Παρουσίαση διαγράμματος ροής της διαδικασίας εισαγωγής νέου ασθενή.

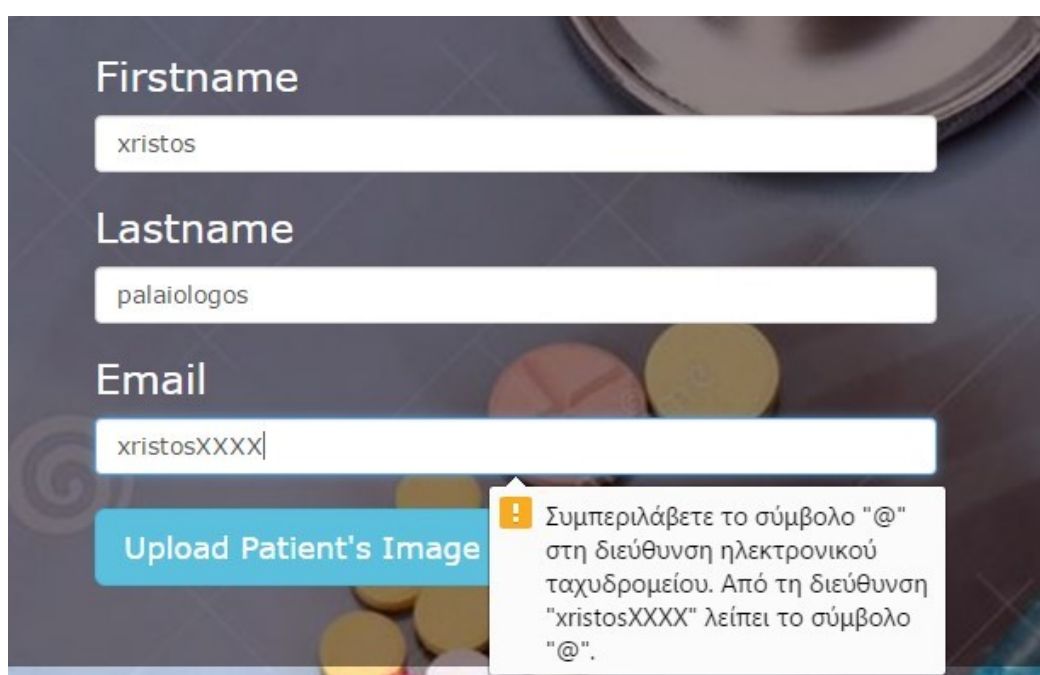
4.2.1.2 Εισαγωγή προσωπικών πληροφοριών–Ανέβασμα ιατρικής εικόνας

Ο χρήστης εισάγει τις προσωπικές πληροφορίες του ασθενή. Σε περίπτωση που δεν έχουν συμπληρωθεί όλα τα στοιχεία ή δεν έχει δοθεί κάποια έγκυρη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου τότε ο χρήστης ανακατευθύνεται στην ίδια σελίδα. Στις εικόνες 32 και 33 φαίνονται τα μηνύματα λάθους που εμφανίζονται σε περίπτωση που παραβιάζεται κάποια από τις δύο παραπάνω συνθήκες.



The screenshot shows a web form titled "Fill in patients personal information". It contains three input fields: "Firstname", "Lastname", and "Email". The "Lastname" field is empty, and a yellow error message box is displayed above it with the text "Συμπληρώστε αυτό το πεδίο." (Fill in this field). Below the fields is a blue button labeled "Upload Patient's Image". The background of the form is a medical-themed image with a stethoscope, pills, and a syringe.

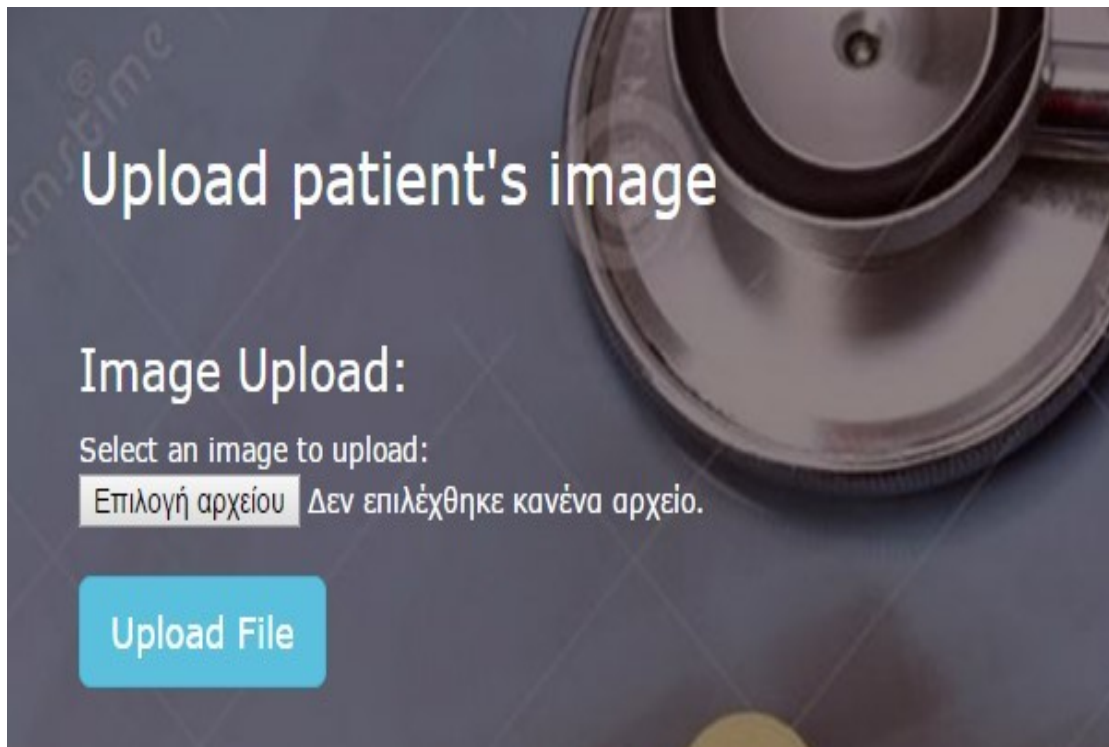
Εικόνα 33: Μήνυμα λάθους σε περίπτωση που κάποιο πεδίο έχει αφεθεί κενό.



The screenshot shows the same web form as in Figure 33, but now the "Firstname" field contains "xristos", the "Lastname" field contains "palaiologos", and the "Email" field contains "xristosXXXX". A yellow error message box is displayed below the "Email" field with the text "Συμπεριλάβετε το σύμβολο "@" στη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Από τη διεύθυνση "xristosXXXX" λείπει το σύμβολο "@"." (Include the "@" symbol in the email address. The "@" symbol is missing from the address "xristosXXXX"). The "Upload Patient's Image" button is still visible.

Εικόνα 34: Μήνυμα λάθους σε περίπτωση που δεν έχει δοθεί έγκυρη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

Ο χρήστης εφόσον συμπληρώσει έγκαιρα όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες στη συνέχεια μεταβαίνει στην επιλογή της ιατρικής εικόνας του ασθενή η οποία αποτελεί εικόνα DICOM. Στην εικόνα 35 φαίνεται η οθόνη της εφαρμογής στην οποία γίνεται το ανέβασμα της φωτογραφίας.



Εικόνα 35: Οθόνη επιλογής ιατρικής εικόνας για ανέβασμα.

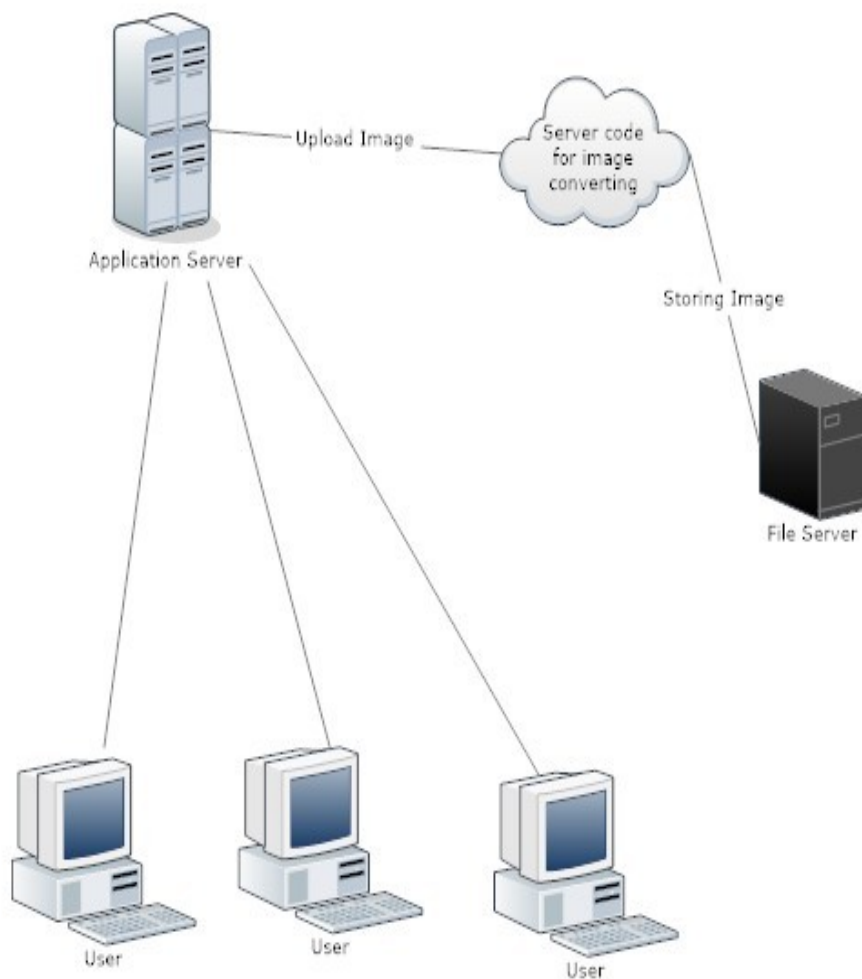
Αφού επιλεγεί η εικόνα του ασθενή, ο χρήστης πατάει το κουμπί *Upload File* το οποίο στέλνει την πληροφορία στο server. Στη συνέχεια η πληροφορία της εικόνας επεξεργάζεται από ένα αρχείο JSP, *UploadFile.jsp*, το οποίο μετατρέπει την εικόνα από DICOM μορφή σε μορφή JPEG και στη συνέχεια την αποθηκεύει στο server της εφαρμογής. Η διαδικασία αποστολής της πληροφορίας της DICOM εικόνας, η επεξεργασία και αποθήκευσή της φαίνονται στο διάγραμμα της εικόνας 36.

4.2.1.3 Εισαγωγή ιατρικών στοιχείων του ασθενή

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί με επιτυχία η μετατροπή και αποθήκευση της ιατρικής εικόνας του ασθενή στο server του συστήματος, το επόμενο στάδιο στη διαδικασία εισαγωγής είναι η συμπλήρωση των ιατρικών δεδομένων του. Κατά τη διαδικασία εισαγωγής, η ιατρική εικόνα του ασθενή είναι μόνιμα ορατή έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να τη συμβουλευτεί για τη συμπλήρωση των ιατρικών στοιχείων του ασθενή.

Τα δεδομένα που ο χρήστης πρέπει να συμπληρώσει χωρίζονται σε 3 κύρια μέρη:

- Ανατομικό προφίλ του ασθενή.
- Κλινικό προφίλ.
- Χαρακτηριστικά πλάκας και συμπτώματα.

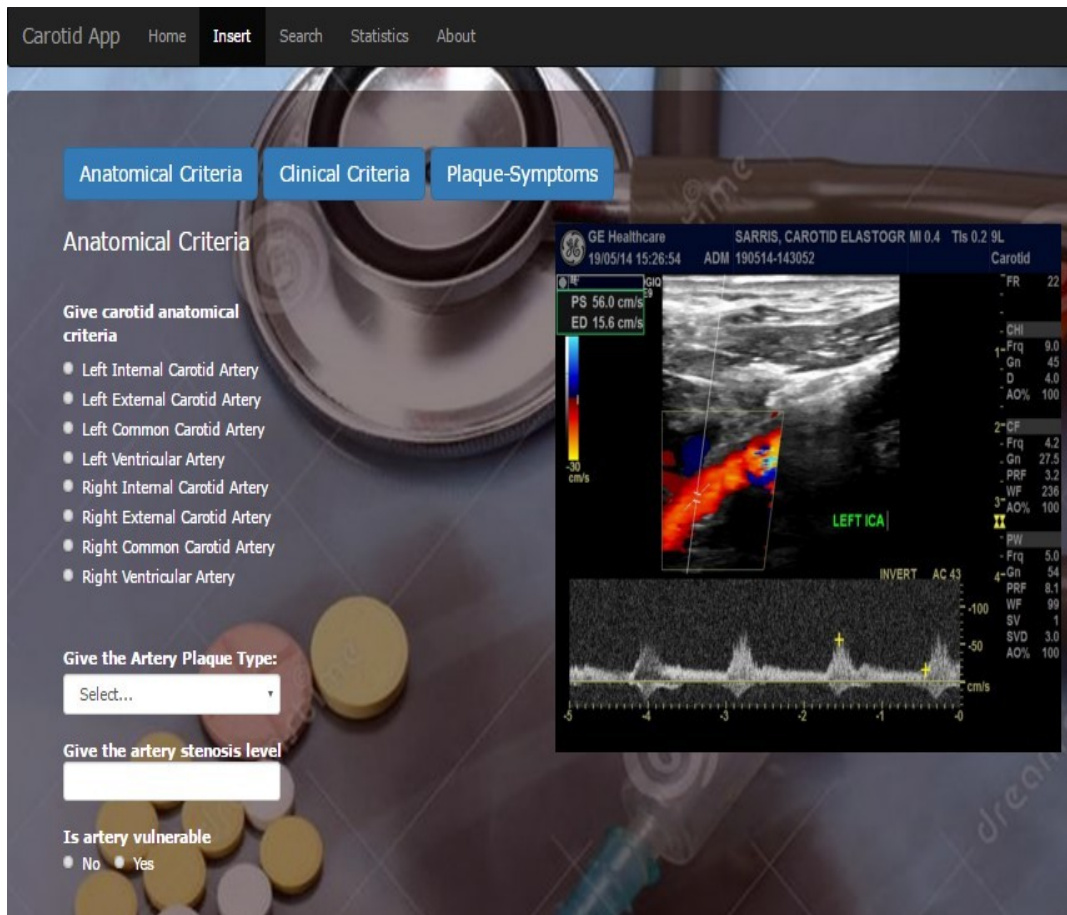


Εικόνα 36: Διαδικασία αποστολής και αποθήκευσης της ιατρικής εικόνας στο server του συστήματος.

Στο ανατομικό προφίλ ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει πληροφορίες σχετικά με την ανατομία της αρτηρίας του ασθενή. Συγκεκριμένα τα πεδία προς συμπλήρωση είναι τα εξής:

- Ανατομική τοποθέτηση της αρτηρίας. Ο χρήστης επιλέγει το ακριβές σημείο της καρωτιδικής ή σπονδυλικής αρτηρίας το οποίο απεικονίζεται στην ιατρική εικόνα του ασθενή.
- Ο τύπος της πλάκας ο οποίος εμφανίζεται στην αρτηρία.
- Ο βαθμός στένωσης της αρτηρίας σε ποσοστό %.
- Χαρακτηρισμός της πλάκας της αρτηρίας ως ευάλωτης ή όχι.

Στην εικόνα 37 φαίνονται οι παραπάνω επιλογές.



Εικόνα 37: Συμπλήρωση ανατομικών κριτηρίων του ασθενή.

Στο κλινικό προφίλ ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει πληροφορίες σχετικά με τα κλινικά δεδομένα του ασθενή καθώς και με το ιστορικό του. Συγκεκριμένα τα πεδία που πρέπει να συμπληρώσει είναι τα εξής:

- Το επίπεδο δείκτη μάζας σώματος έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν ο ασθενής πάσχει από παχυσαρκία.
- Το επίπεδο καρδιακού παλμού.
- Χαρακτηρισμός της αρτηριακής πίεσης ως κανονικού επιπέδου ή όχι.
- Το επίπεδο χοληστερόλης.
- Το επίπεδο σακχάρου.
- Χαρακτηρισμός του ασθενή ως υπερτασικούς ή όχι.

Στην εικόνα 38 φαίνονται οι παραπάνω επιλογές. Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας εισαγωγής νέου ασθενή στο σύστημα είναι η συμπλήρωση κάποιων ιατρικών στοιχείων σχετικά με χαρακτηριστικά της αθηροσκληρωτικής πλάκας καθώς και συμπτωμάτων τα οποία έχει εμφανίσει. Συγκεκριμένα πρέπει να συμπληρώσει τα παρακάτω πεδία:

- Τον τύπο της αθηροσκληρωτικής πλάκας.
- Το είδος του περιγράμματος της πλάκας.



Εικόνα 38: Συμπλήρωση κλινικών κριτηρίων του ασθενή.

- Χαρακτηρισμός της πλάκας ως μαλακής ή σκληρής.
- Χαρακτηρισμός της πλάκας ως ευάλωτης ή όχι.
- Δήλωση αν ο ασθενής έχει εμφανίσει αμαύρωση.
- Δήλωση αν ο ασθενής έχει εμφανίσει παροδικό αγγειακό εγκεφαλικό.
- Δήλωση αν ο ασθενής έχει εμφανίσει μόνιμο αγγειακό εγκεφαλικό.

Στην εικόνα 39 φαίνονται οι παραπάνω επιλογές. Εφόσον ο χρήστης συμπληρώσει όλα τα στοιχεία πατάει το κουμπί *Preview*. Το σύστημα απαιτεί ο χρήστης να έχει συμπληρώσει όλα τα απαραίτητα πεδία, ώστε να υπάρχει ολοκληρωμένη εικόνα για τα χαρακτηριστικά του, με σκοπό να τον κατατάξει σωστά στις αντίστοιχες κλάσεις της οντολογίας. Για το λόγο αυτό έχει εφαρμοστεί έλεγχος έτσι ώστε σε περίπτωση που κάποιο από τα στοιχεία του ασθενή δεν έχει συμπληρωθεί να εμφανίζεται ένα προειδοποιητικό παράθυρο.

Εφόσον όλα τα πεδία είναι σωστά συμπληρωμένα ο χρήστης μεταβαίνει στη σελίδα προεπισκόπησης στην οποία μπορεί να δει όλες τις επιλογές τις οποίες έχει κάνει σε σχέση με το νέο ασθενή που πρόκειται να εισάγει. Αφού επιβεβαιώσει ότι όλα τα πεδία έχουν συμπληρωθεί σωστά τότε πατάει το κουμπί *Submit Form* με το οποίο η νέα εγγραφή εισάγεται στην οντολογία. Σε αντίθετη περίπτωση πατώντας το κουμπί *Previous* ο χρήστης μεταβαίνει στην προηγούμενη σελίδα ώστε να τροποποιήσει τα στοιχεία που συμπλήρωσε. Μετά την επιτυχή υποβολή των στοιχείων και κατ' επέκταση της εισαγωγής του νέου ασθενή στο σύστημα ο χρήστης ανακατευθύνεται στην αρχική σελίδα. Στην εικόνα 41 φαίνεται η οθόνη της προεπισκόπησης που μόλις περιεγράφηκε.

Carotid App Home **Insert** Search Statistics About

Anatomical Criteria Clinical Criteria **Plaque-Symptoms**

Plaque characteristics

Plaque Type
Select...

Plaque Outline
Select...

Plaque
 Hard Plaque Soft Plaque

Plaque vulnerability
 Vulnerable Plaque Non Vulnerable Plaque

Symptoms

Has amaurosis?
 Yes No

Has TIA?
 Yes No

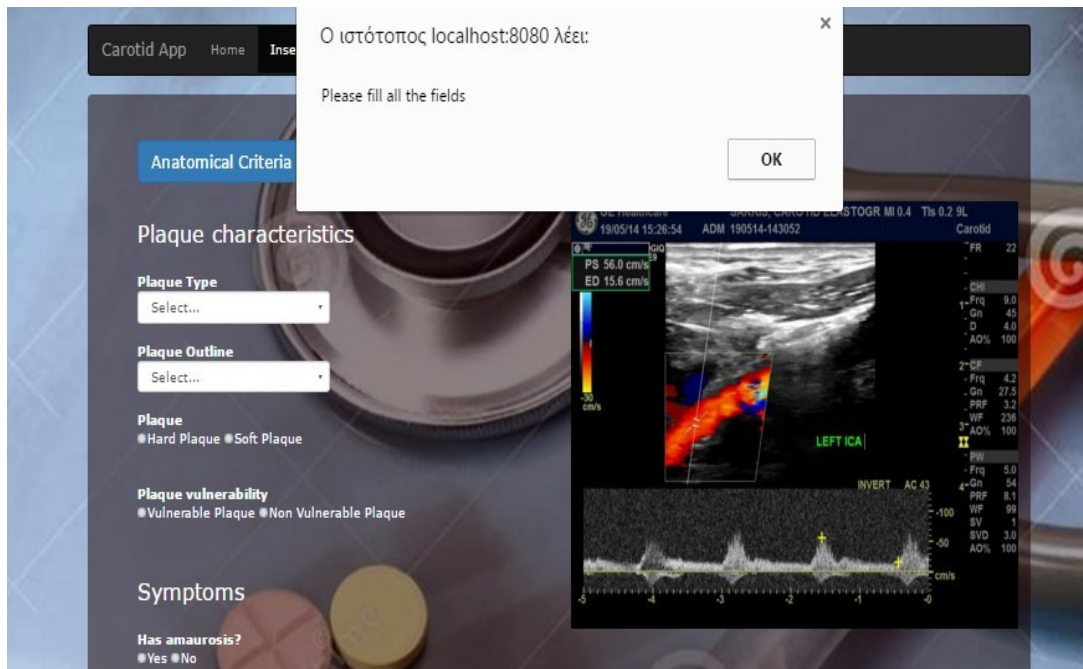
Has stroke?
 Major Stroke Minor Stroke No

Preview

Εικόνα 39: Συμπλήρωση χαρακτηριστικών πλάκας και συμπτωμάτων του ασθενή.

4.2.2 Αναζήτηση ασθενών βάσει κριτηρίων στο σύστημα

Το δεύτερο βασικό κομμάτι της εφαρμογής που αναπτύχθηκε είναι η δυνατότητα αναζήτησης ασθενών στο σύστημα οι οποίοι πληρούν τα κριτήρια αναζήτησης που επιλέχθηκαν. Με τον τρόπο αυτό οι γιατροί έχουν τη δυνατότητα να αναζητούν και να ανακτούν ασθενείς με παρόμοιο ιατρικό προφίλ, γεγονός που βελτιώνει τη δυνατότητα τόσο εκτίμησής τους πάνω σε διάφορα ιατρικά περιστατικά αθηροσκλήρωσης όσο και της διαχείρισης του όγκου ασθενών που υπάρχει στους ιατρικούς τους φακέλους.



Εικόνα 40: Έλεγχος συμπλήρωσης όλων των απαραίτητων πεδίων.



Εικόνα 41: Οθόνη προεπισκόπησης των πεδίων που έχει συμπληρώσει ο χρήστης.

Η διαδικασία αναζήτησης στην εφαρμογή αποτελείται από 3 στάδια:

- Επιλογή των κριτηρίων αναζήτησης.
- Εμφάνιση αποτελέσματος αναζήτησης μαζί με κάποιες βασικές πληροφορίες για κάθε εγγραφή–αποτέλεσμα.
- Εμφάνιση πλήρους προφίλ ασθενούς.

Το διάγραμμα ροής της διαδικασίας αναζήτησης φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 42. Στις επόμενες ενότητες θα περιγραφεί κάθε ένα από τα στάδια της διαδικασίας αναζήτησης.

4.2.2.1 Επιλογή κριτηρίων αναζήτησης

Στο στάδιο αυτό ο χρήστης επιλέγει τα κριτήρια–χαρακτηριστικά των ασθενών τα οποία επιθυμεί να αναζητήσει. Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να συμπληρωθούν είναι πανομοιότυπα με αυτά κατά την εισαγωγή των ασθενών. Έτσι ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει μια συνδυασμένη αναζήτηση βάσει ανατομικών και κλινικών κριτηρίων. Ο συνδυασμός των παραπάνω κριτηρίων δίνει τη δυνατότητα ανάκτησης ασθενών βασισμένη σε σύνθετα ερωτήματα. Η εικόνα 43 παρουσιάζει την οθόνη επιλογής των κριτηρίων αναζήτησης.

4.2.2.2 Εμφάνιση αποτελεσμάτων αναζήτησης

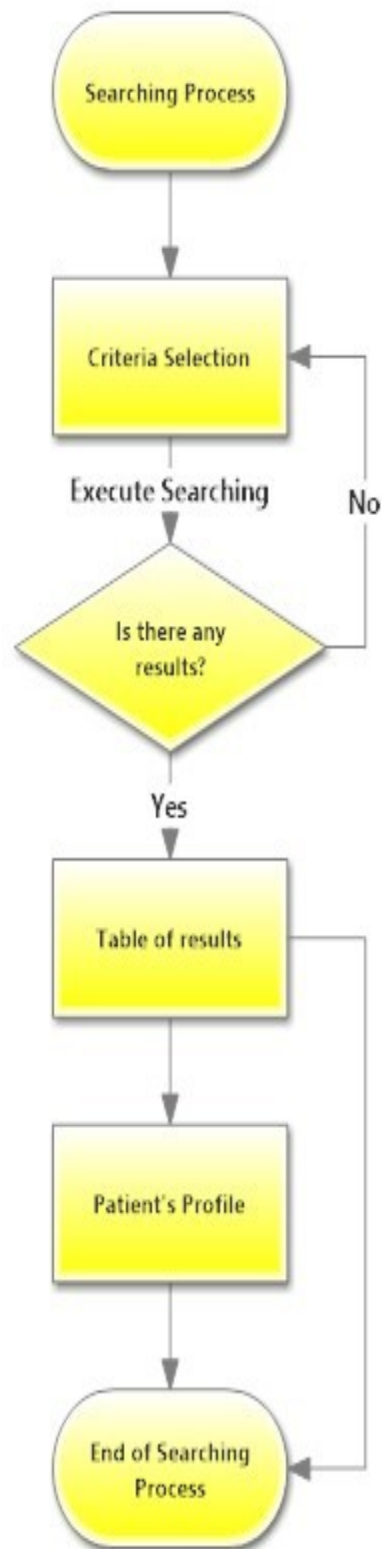
Στο σημείο αυτό, όπως φαίνεται από την εικόνα 43, ο χρήστης έχει επιλέξει να αναζητήσει όλους τους ασθενείς οι οποίοι εμφανίζουν αρτηρία με τύπο αθηροσκληρωτικής πλάκας 2. Με την ολοκλήρωση της επιλογής των κριτηρίων αναζήτησης ο χρήστης εκτελεί την αναζήτηση πατώντας το κουμπί *Show Results*. Η αναζήτηση πραγματοποιείται και ο πίνακας με τα αποτελέσματα φαίνεται στην εικόνα 44.

Η αναζήτηση, όπως φαίνεται από την εικόνα 43, επέστρεψε 3 εγγραφές. Με άλλα λόγια 3 ασθενείς στο σύστημα εμφανίζουν αθηροσκληρωτική πλάκα τύπου 2. Στο σημείο αυτό θα δοθεί μια περιγραφή του περιεχομένου του πίνακα των αποτελεσμάτων. Ο πίνακας περιέχει την εξής πληροφορία για κάθε αποτέλεσμα που περιέχει:

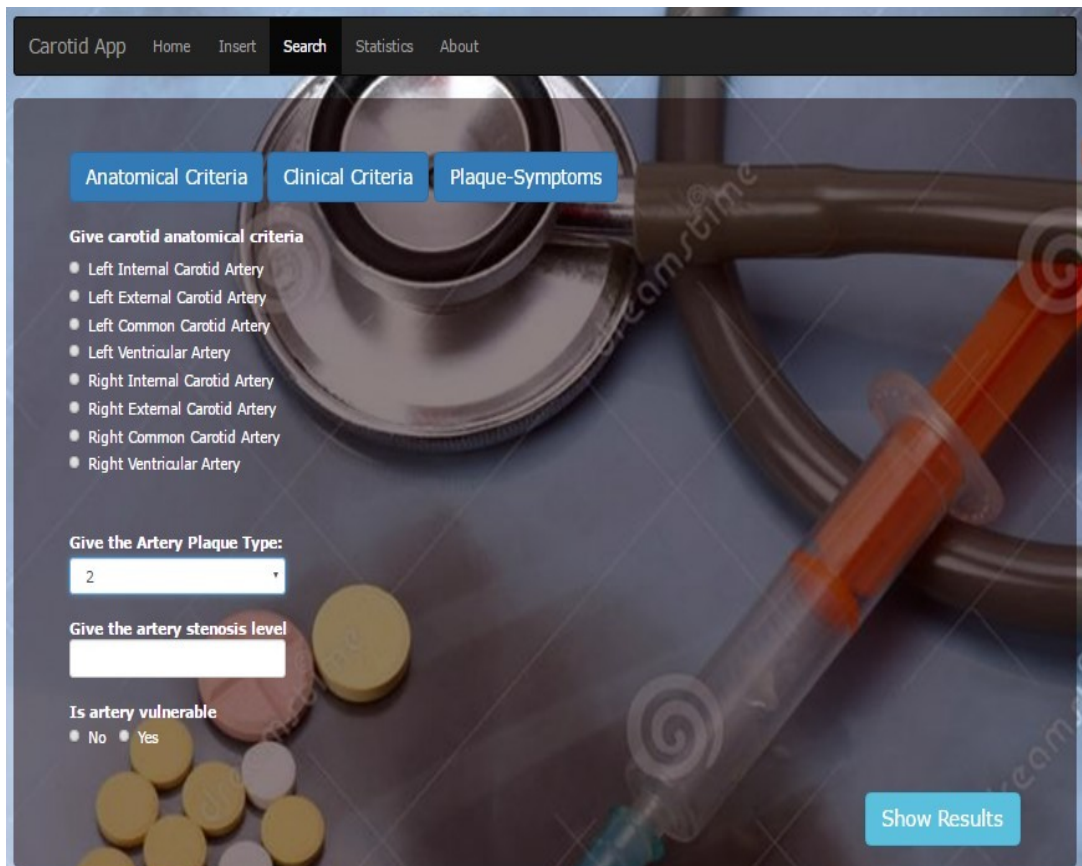
- Το όνομα του ασθενή.
- Το επώνυμο του ασθενή.
- Τη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου του.
- Χαρακτηρισμός του ασθενή ως συμπτωματικού ή όχι.
- Το βαθμό στένωσης της αρτηρίας.
- Τον τύπο της πλάκας.
- Σύνδεσμο στο ολοκληρωμένο προφίλ κάθε ασθενή.

Μέσα από αυτή την πληροφορία ο ιατρός, ο οποίος επέλεξε να αναζητήσει όλους του ασθενείς οι οποίοι εμφανίζουν αρτηρία με αθηροσκληρωτική πλάκα τύπου 2, μπορεί να φιλτράρει ακόμα περισσότερο τα αποτελέσματα της αναζήτησής του. Για κάθε ασθενή μπορεί να δει αν έχει εμφανίσει

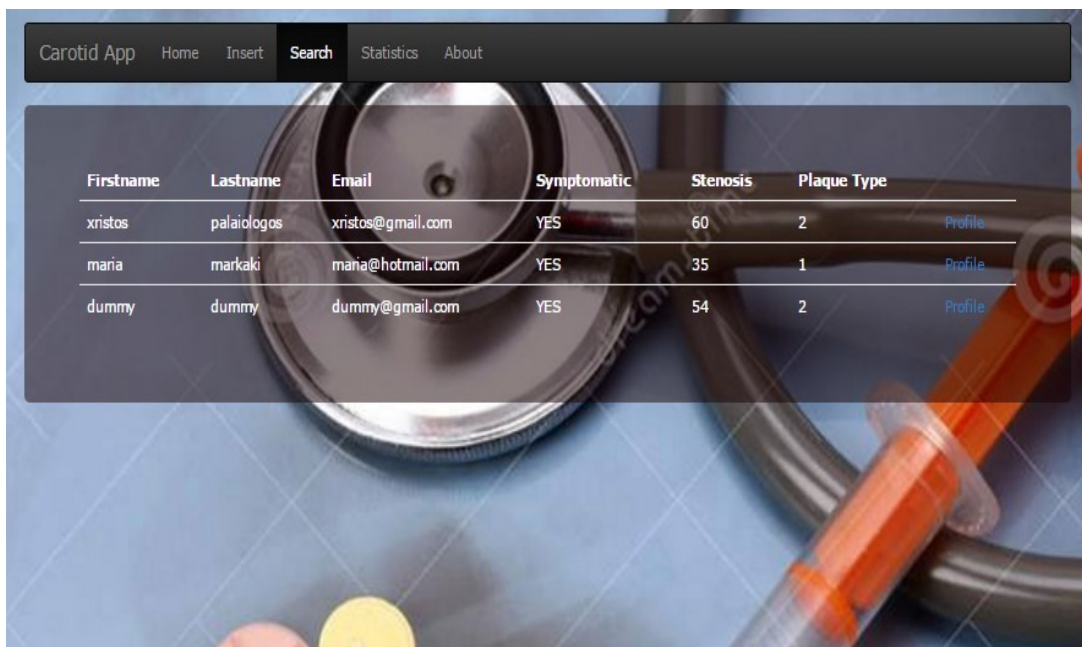
συμπτώματα, το βαθμό στένωσης αρτηρίας τον οποίο εμφανίζει καθώς και τον τύπο της πλάκας που έχει.



Εικόνα 42: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας αναζήτησης.



Εικόνα 43: Επιλογή κριτηρίων αναζήτησης από το χρήστη. Στη συγκεκριμένη εικόνα φαίνεται η διαδικασία αναζήτησης όλων των ασθενών που έχουν αρτηριακή πλάκα τύπου 2.



Εικόνα 44: Εμφάνιση αποτελεσμάτων αναζήτησης.

Έτσι, αν για παράδειγμα ήθελε να δει μόνο τα προφίλ των ασθενών οι οποίοι εκτός από πλάκα τύπου 2 έχουν εμφανίσει και κάποιο σύμπτωμα τότε από τον πίνακα θα μπορούσε να επιλέξει μόνο εκείνους οι οποίοι είναι δηλωμένοι ως συμπτωματικοί ασθενείς. Η επιπλέον πληροφορία του πίνακα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη-ιατρό να έχει μια πρόχειρη αλλά σημαντική εικόνα του ασθενή.

4.2.2.3 Προφίλ ασθενών

Όπως προαναφέρθηκε σε κάθε γραμμή του πίνακα αποτελεσμάτων ο χρήστης μπορεί να δει το λεπτομερές προφίλ του ασθενή πατώντας πάνω στο σύνδεσμο *Profile*. Η ενέργειά του αυτή τον προωθεί σε νέα οθόνη της εφαρμογής στην οποία εμφανίζεται το λεπτομερές ιατρικό προφίλ του ασθενή που επέλεξε. Στην εικόνα 45 φαίνεται η οθόνη στην οποία μεταβαίνει ο χρήστης.

Το προφίλ του ασθενή χωρίζεται σε 7 ενότητες οι οποίες είναι οι εξής:

- Προσωπικές πληροφορίες του ασθενή(Όνομα, Επώνυμο, Διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου).
- Η αποθηκευμένη DICOM εικόνα του ασθενή.
- Το ανατομικό του προφίλ.
- Το κλινικό του προφίλ.
- Τα χαρακτηριστικά της πλάκας του.
- Τα συμπτώματα που μπορεί να έχει εμφανίσει.
- Μία περιγραφή η οποία κατατάσσει τον ασθενή σε υψηλού κινδύνου ή όχι και το λόγο για τον οποίο θεωρείται ή όχι.

Η τελευταία περιγραφή είναι η σημαντικότερη καθώς δείχνει την ικανότητα του συστήματος να κατατάσσει αυτόματα, μέσα από συγκεκριμένους κανόνες που έχουν οριστεί, τον ασθενή ανάλογα με το βαθμό επικινδυνότητάς της πλάκας του. Η οντολογία παράγει τη γνώση αυτή μέσα από τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε ασθενή και έτσι ο χρήστης μπορεί να έχει μια πρώτη εικόνα εκτίμησης της κατάστασής του.

4.2.3 Παρουσίαση στατιστικών γραφημάτων

Το τελευταίο βασικό κομμάτι της εφαρμογής είναι η παρουσίαση στατιστικών αποτελεσμάτων υπό τη μορφή γραφήματος. Ο χρήστης μπορεί να δει γραφικά το ποσοστό των ασθενών που υπάρχουν στο σύστημα και πληρούν κάποια χαρακτηριστικά τα οποία επιλέγει. Οι επιλογές οι οποίες έχει ο χρήστης είναι οι εξής:

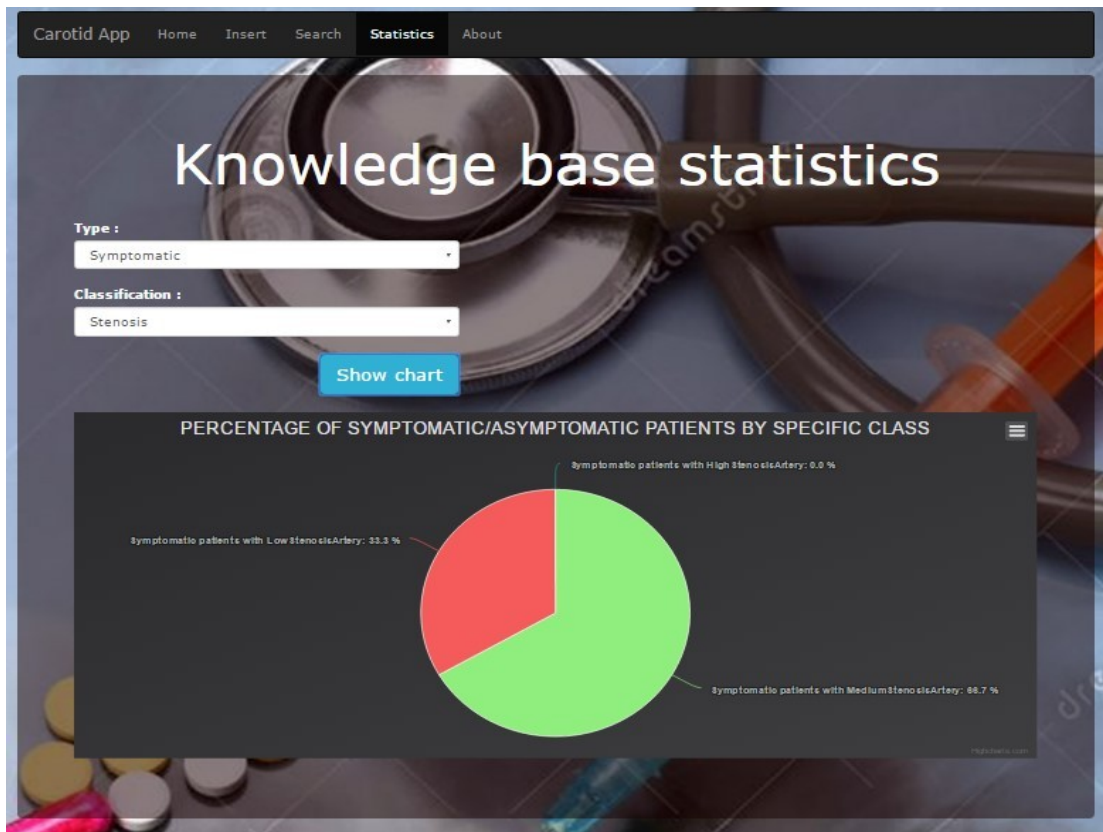
- Χαρακτηρισμός του ασθενή σε συμπτωματικό ή όχι.
- Στατιστικά σχετικά με τα επίπεδα χοληστερόλης των ασθενών του συστήματος.
- Στατιστικά σχετικά με τα επίπεδα σακχάρου των ασθενών του συστήματος.
- Στατιστικά σχετικά με το δείκτη μάζας σώματος των ασθενών του συστήματος.
- Στατιστικά σχετικά με το βαθμό στένωσης της αρτηρίας των ασθενών του συστήματος.



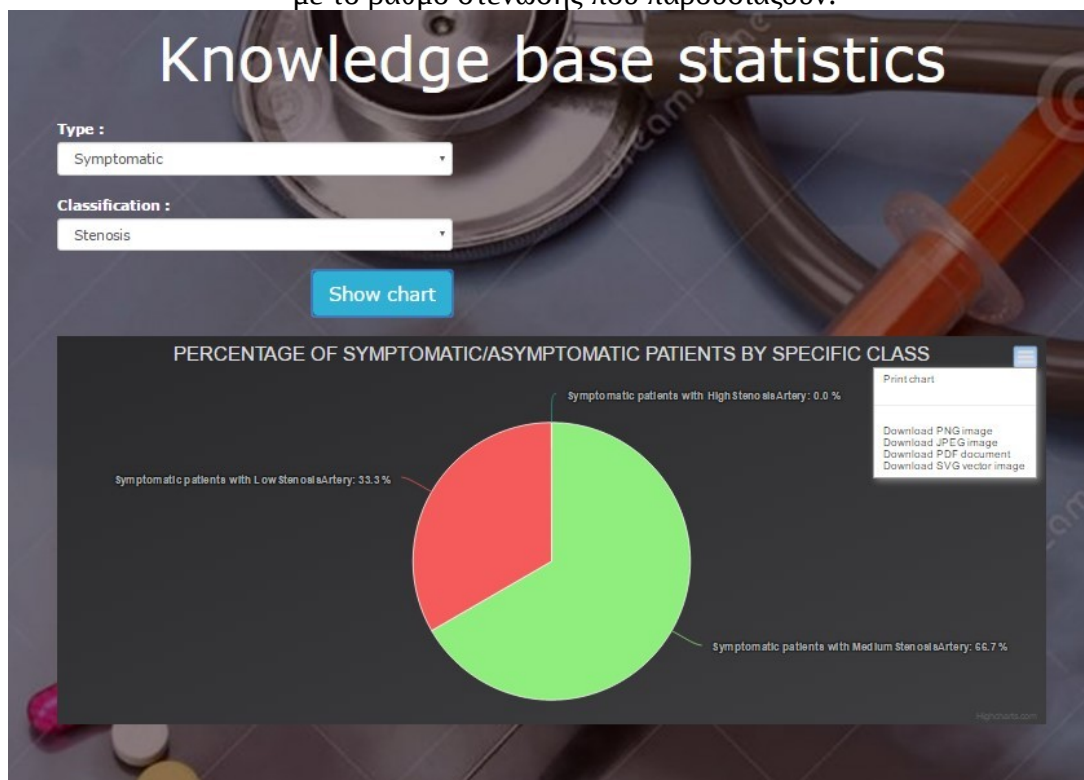
Εικόνα 45: Οθόνη παρουσίασης του ολοκληρωμένου ιατρικού προφίλ του ασθενούς στην εφαρμογή.

Ο χρήστης αρχικά επιλέγει αν θέλει να δει στατιστικά σχετικά με ασθενείς που έχουν εμφανίσει κάποιο σύμπτωμα ή όχι. Στη συνέχεια επιλέγει την κλάση σχετικά με την οποία θέλει να δει τον ποσοστιαίο αριθμό ασθενών. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να δει πόσοι ασθενείς στο σύστημα έχουν τα χαρακτηριστικά τα οποία έχει επιλέξει και μάλιστα, ανά κλάση την ποσοστιαία διαβάθμιση των κλινικών επιπέδων κάθε ασθενή. Στην εικόνα 46 φαίνεται η ποσοστιαία διαβάθμιση των συμπτωματικών ασθενών σε σχέση με το βαθμό στένωσης που παρουσιάζουν.

Για την αναπαραγωγή του γραφήματος χρησιμοποιήθηκε μια βιβλιοθήκη της JavaScript η οποία ονομάζεται Highcharts.js. Η βιβλιοθήκη αυτή έδωσε εκτός της εύκολης υλοποίησης των στατιστικών γραφημάτων και τη δυνατότητα αποθήκευσης του αναπαραγόμενου γραφήματος σε μορφή PNG, JPEG, PDF και SVG. Έτσι ο χρήστης μπορεί εύκολα να κατεβάσει και να αποθηκεύσει το γράφημα της εφαρμογής τοπικά στον υπολογιστή του.



Εικόνα 46: Ποσοστιαία διαβάθμιση συμπτωματικών ασθενών στο σύστημα σε σχέση με το βαθμό στένωσης που παρουσιάζουν.



Εικόνα 47: Λήψη και αποθήκευση γραφήματος σε μορφή PNG, JPEG, PDF, SVG.

Κεφάλαιο 5: Μέτρηση απόδοσης του συστήματος

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί το σύνολο ιατρικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια συμπλήρωσης της οντολογίας του συστήματος, ο ορισμός της έννοιας του ασθενή υψηλού κινδύνου και θα δοθούν οι χρόνοι απόκρισης πολύπλοκων ερωτημάτων στην οντολογία.

5.1 Σύνολο δεδομένων των ασθενών

Για τη συμπλήρωση της οντολογίας του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα, σχετικά με ασθενείς οι οποίοι παρουσιάζουν αθηροσκλήρωση στις καρωτίδες, από το «Αττικό» Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Αθηνών. Τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα σε μία MySQL βάση δεδομένων και απαρτίζονται συνολικά από 233 περιπτώσεις ασθενών. Η βάση αυτή περιέχει πληροφορίες σχετικά με τις εικόνες των εξετάσεων των ασθενών, όπως για παράδειγμα το βαθμό στένωσης της αρτηρίας και τον τύπο της πλάκας, καθώς και το κλινικό τους προφίλ. Το σύνολο αυτό των ιατρικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για να συμπληρωθεί η οντολογία με έναν όσο το δυνατόν ακριβέστερο τρόπο ώστε τα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται σε πραγματικές περιπτώσεις ασθενών. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από την εκτέλεση διαφορετικών και πολύπλοκων ερωτημάτων στην οντολογία.

5.2 Ορισμός ασθενή υψηλού κινδύνου

Η καινοτομία του συστήματος που αναπτύχθηκε είναι ότι ο ασθενής βάσει των ιατρικών δεδομένων του μπορεί να χαρακτηριστεί ως ασθενής υψηλού κινδύνου ή ασθενής χαμηλού κινδύνου. Ο χρήστης, κατά τη διαδικασία εισαγωγής ενός νέου ασθενή, συμπληρώνει όλα τα ιατρικά δεδομένα του και στη συνέχεια αυτός αποθηκεύεται στην οντολογία του συστήματος ως μία νέα ατομική οντότητα. Όταν ο χρήστης εκτελέσει μια αναζήτηση, το σύστημα επιστρέφει όλες τις εγγραφές που ταιριάζουν στα κριτήρια αναζήτησης. Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να δει το αναλυτικό προφίλ του ασθενή στο οποίο φαίνεται και το συμπέρασμα αν ο ασθενής ανήκει στην κατηγορία των υψηλού κινδύνου ή όχι. Στην εικόνα 48 παρουσιάζεται η οθόνη της εφαρμογής στην οποία φαίνεται ο βαθμός επικινδυνότητας της πλάκας ενός ασθενή:

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο ασθενής χαρακτηρίστηκε ως υψηλού κινδύνου. Στην εικόνα 48 παρατηρείται ότι εκτός από το χαρακτηρισμό του ασθενή παρουσιάζεται και ένας πίνακας με όλες τις τιμές των ιατρικών δεδομένων του, τα οποία χρησιμοποίησε το σύστημα για να τον κατατάξει στην κατηγορία των υψηλού κινδύνου ασθενών.

Συγκεκριμένα τα ιατρικά χαρακτηριστικά τα οποία χρησιμοποιεί η οντολογία για να εξάγει το συμπέρασμα σχετικά με την επικινδυνότητα της πλάκας των ασθενών είναι τα εξής:

1. Ποσοστό χοληστερόλης,
2. Ποσοστό σακχάρου,
3. Εμφάνιση υπέρτασης,
4. και ο βαθμός στένωσης της αρτηρίας.

Patient is a **High Risk Patient** with the below profile

Cholesterol Levels	Sugar Levels	Hypertension	Stenosis Level
67	89	Yes	54

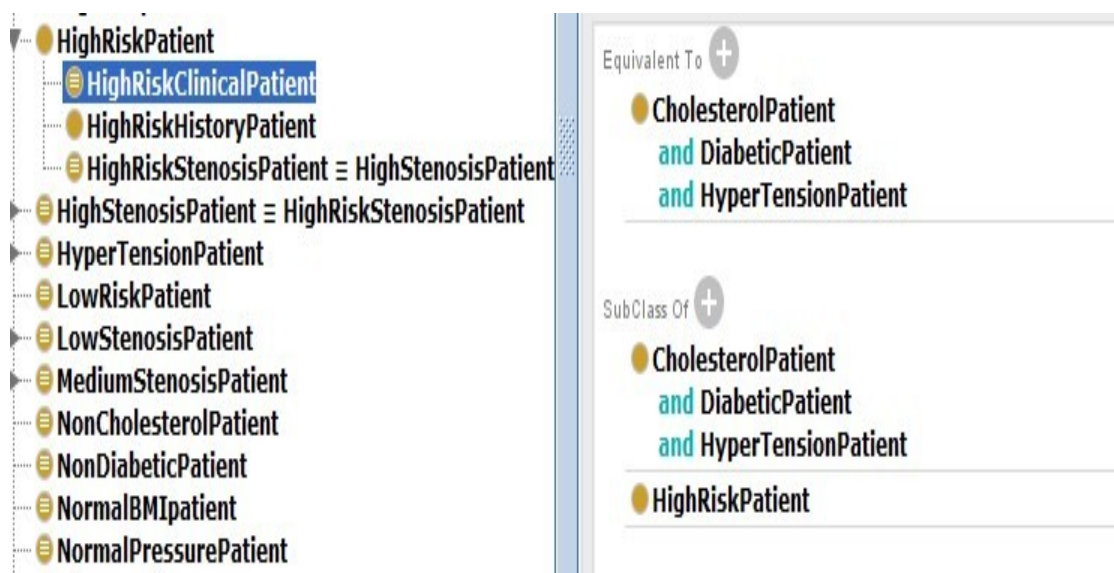
As we can see the cholesterol levels are *High*, the sugar levels are *High*, the stenosis level is *Normal* and it has been observed hypertension

Εικόνα 48: Παρουσίαση του βαθμού επικινδυνότητας της πλάκας ενός ασθενή.

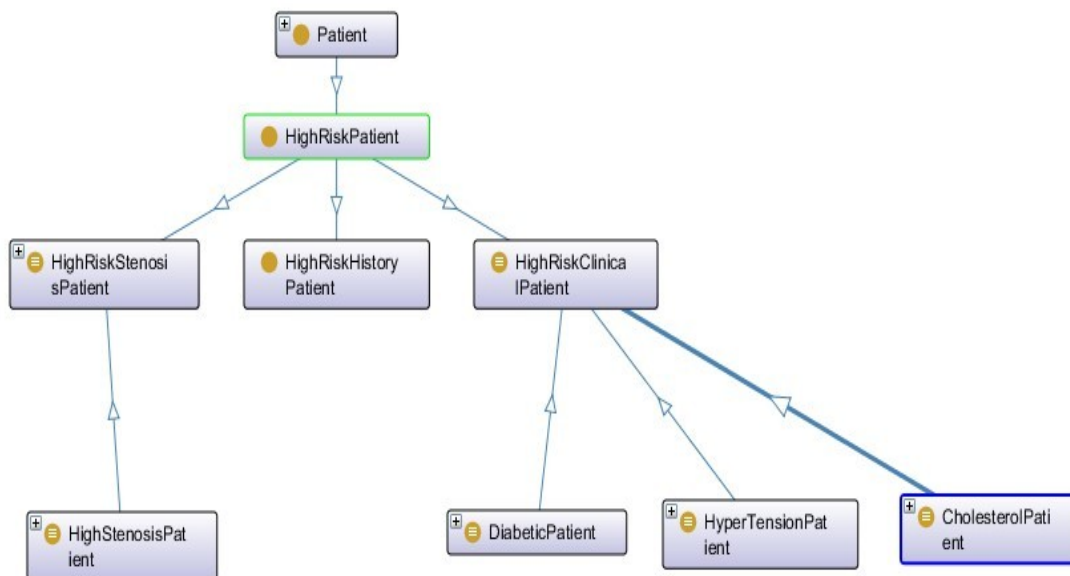
Σύμφωνα με τους κανόνες με τους οποίους έχει δομηθεί η οντολογία του συστήματος, ένας ασθενής χαρακτηρίζεται ως υψηλού κινδύνου αν ισχύει ένας τουλάχιστον από τους παρακάτω κανόνες:

- Ένας ασθενής είναι διαβητικός, παρουσιάζει δηλαδή υψηλά ποσοστά σακχάρου στο αίμα, έχει υψηλή χοληστερόλη και εμφανίζει υπέρταση.
- Ένας ασθενής παρουσιάζει υψηλό βαθμό στένωσης της αρτηρίας του, της τάξης του 70% και άνω.

Οι παραπάνω κανόνες εμφανίζονται στις εικόνες 49 και 50 στην ιεραρχία των κλάσεων της οντολογίας.



Εικόνα 49: Ιεραρχία κλάσεων του HighRiskPatient στην οντολογία του συστήματος.



Εικόνα 50: Γραφική αναπαράσταση της ιεραρχίας κλάσεων του HighRiskPatient στην οντολογία του συστήματος.

Ένας ασθενής χαρακτηρίζεται ως *CholesterolPatient* όταν τα επίπεδα χοληστερόλης του ξεπερνούν τα 200mg/dL ενώ ως *DiabeticPatient* όταν τα επίπεδα σακχάρου ξεπερνούν τα 120 mg/dL. Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστούν κάποια ερωτήματα τα οποία αντιστοιχούν στις απαιτήσεις ιατρών-χρηστών.

5.3 Εκτέλεση πολύπλοκων ερωτημάτων–Χρόνοι Απόκρισης

5.3.1 Απαιτήσεις Χρηστών

Στην ενότητα αυτή θα δοθούν κάποια σύνθετα ερωτήματα μαζί με τους χρόνους απόκρισης του συστήματος. Οι κύριες απαιτήσεις των χρηστών ως προς τη διαδικασία αναζήτησης αναλύονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Αναζήτηση ασθενών σύμφωνα με τις κλινικές τους εξετάσεις όπως για παράδειγμα το βαθμό στένωσης, τον τύπο και την ανατομική θέση της πλάκας.
- Συνδυασμένη αναζήτηση ασθενών βάσει τόσο του ανατομικού όσο και του κλινικού τους προφίλ.
- Αναζήτηση ασθενών βάσει του δείκτη επικινδυνότητάς τους.

Για κάθε μία από τις παραπάνω απαιτήσεις θα εκτελέσουν κάποια δοκιμαστικά ερωτήματα και θα παρουσιαστεί ο χρόνος απόκρισής τους.

5.3.2 Παραδείγματα ερωτημάτων-Μέτρηση χρόνου απόκρισης

Στην ενότητα αυτή θα παρατεθούν μια σειρά από ερωτήματα τα οποία εκτελέστηκαν στην οντολογία του συστήματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις που δόθηκαν από τους ιατρούς. Οι χρόνοι απόκρισης των ερωτημάτων μετρήθηκαν σε υπολογιστικό περιβάλλον με τεχνικά χαρακτηριστικά που φαίνονται στην εικόνα 51.

Επεξεργαστής:	Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30GHz 3.30 GHz
Εγκατεστημένη μνήμη (RAM):	4,00 GB
Τύπος συστήματος:	Λειτουργικό σύστημα 64-bit
Πένα και αφή:	Δεν είναι διαθέσιμη η εισαγωγή δεδομένων με πένα ή με αφή για αυτήν την οθόνη

Εικόνα 51: Τεχνικά χαρακτηριστικά υπολογιστικού συστήματος.

1) Ερώτημα βασισμένο στις κλινικές εξετάσεις των ασθενών

Το ερώτημα που δοκιμάστηκε είναι της μορφής: «Βρες όλους τους ασθενείς που έχουν υψηλό βαθμό στένωσης στις αρτηρίες». Ο χρόνος απόκρισης του ερωτήματος ήταν 64 ms. Στο σύστημα της οντολογίας το ερώτημα αυτό μεταφράζεται στη μορφή <Patient><hasArtery><HighStenosisArtery>. Ο χρήστης μέσα από την εφαρμογή επιλέγει την τάξη του βαθμού στένωσης για την οποία θέλει να βρει ασθενείς με παρόμοιο κλινικό προφίλ και στη συνέχεια το σύστημα μεταφράζει αυτή την πληροφορία στην αντίστοιχη κλάση της οντολογίας στην οποία και εκτελείται το ερώτημα.

2) Ερώτημα βασισμένο στο συνδυασμό ανατομικού και κλινικού προφίλ των ασθενών

Το ερώτημα που δοκιμάστηκε είναι της μορφής: «Βρες όλους τους ασθενείς που εμφανίζουν αθηροσκλήρωση στην αριστερή εσωτερική καρωτιδική αρτηρία, έχουν υψηλό δείκτη σακχάρου και έχουν εμφανίσει παροδικό ισχαιμικό επεισόδιο». Ο χρόνος απόκρισης του ερωτήματος ήταν 33ms. Στο σύστημα της οντολογίας το ερώτημα αυτό μεταφράζεται στη μορφή <Patient><type><LICA> AND <Patient><hasClinical><HighSugarLevel> AND <Patient><hasSymptoms><TIA>. Ο χρήστης με τον τρόπο αυτό μπορεί να κάνει πολύπλοκες αναζητήσεις και να περιορίσει στο βαθμό που επιθυμεί την εξειδίκευση της αναζήτησής του. Έτσι ο ιατρός μπορεί να ψάξει με μεγάλη ακρίβεια παρόμοια κλινικά προφίλ ασθενών συνδυάζοντας πολλά κριτήρια, είτε ανατομικά είτε κλινικά, και να βελτιώσει τη διαδικασία της διάγνωσης της ασθένειας.

3) Ερώτημα σχετικά με το βαθμό επικινδυνότητας της πλάκας του ασθενή

Το ερώτημα που δοκιμάστηκε είναι της μορφής: «Βρες όλους τους ασθενείς οι οποίοι είναι υψηλού κινδύνου». Το ερώτημα παρουσίασε χρόνο εκτέλεσης 52ms. Στο σύστημα της οντολογίας το ερώτημα αυτό είναι της μορφής <Patient><type><HighRiskPatient>. Το ερώτημα αυτό δεν θα μπορούσε να εκτελεστεί σε κανένα συμβατικό ΠΣΥ το οποίο κρατάει τα δεδομένα του σε μία βάση δεδομένων καθώς οι βάσεις δεδομένων δεν μπορούν να εξάγουν γνώση πέρα από αυτή που έχει οριστεί αυστηρά στους πίνακές της. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα το σύστημα μέσα από reasoning των δεδομένων που έχει μπορεί αυτόματα να εξαγάγει το συμπέρασμα για το αν ένας ασθενής είναι υψηλού κινδύνου ή όχι. Το συμπέρασμα αυτό είναι πολύ χρήσιμο για τους ιατρούς καθώς μπορούν να έχουν άμεσα και με μεγάλη ακρίβεια, εφόσον τα κλινικά δεδομένα του ασθενή έχουν συμπληρωθεί σωστά κατά την εισαγωγή του, ένα γενικό χαρακτηρισμό της επικινδυνότητας της πλάκας του ασθενή εξασφαλίζοντας έτσι τη γρηγορότερη και καταλληλότερη αντιμετώπισή του.

Κεφάλαιο 6: Επίλογος

6.1 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής αναπτύχθηκε μια διαδικτυακή εφαρμογή τόσο για την αποθήκευση ασθενών σε μία βάση γνώσης όσο και για την ανάκτησή τους από αυτή εφαρμόζοντας σύνθετα ερωτήματα. Η βάση γνώσης είναι βασισμένη στην οντολογία της καρωτίδας, η οποία αναπτύχθηκε από τον υποψήφιο διδάκτορα Βασίλειο Κόλια και τροποποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, η οποία μοντελοποιεί με περιγραφικό τρόπο την ασθένεια της αθηροσκλήρωσης στις καρωτίδες. Η χρήση τεχνολογιών σημασιολογικού ιστού έδωσε στο σύστημα που αναπτύχθηκε τα εξής χαρακτηριστικά :

1. Ευελιξία ως προς την ενσωμάτωση οντολογιών οι οποίες μπορούν να χρησιμεύσουν ως λεξικογραφικοί θησαυροί για την λεπτομερέστερη περιγραφή της ασθένειας, αυξάνοντας έτσι το βαθμό εξειδίκευσης της εφαρμογής.
2. Δυνατότητα αναπαραγωγής γνώσης βασισμένης στις ιδιότητες του κάθε ασθενή-εγγραφή στην οντολογία. Συγκεκριμένα ο χρήστης κατατάσσεται αυτόματα βάσει των ιατρικών χαρακτηριστικών του σε υψηλού ή χαμηλού κινδύνου.
3. Ευελιξία ως προς την επέκταση της δομής της οντολογίας με σκοπό τη βελτίωση της γνώσης που αναπαράγεται και ταυτόχρονα ενσωμάτωση της στην εφαρμογή με ελάχιστες παρεμβάσεις.
4. Δυνατότητα αναζήτησης ασθενών εφαρμόζοντας πολύπλοκα ερωτήματα στην οντολογία και ανάκτηση αποτελεσμάτων με μεγάλο δείκτη σχετικότητας ως προς τα κριτήρια αναζήτησης.

Επιπλέον η ανάπτυξη της διαδικτυακής εφαρμογής για την αποθήκευση και ανάκτηση ασθενών με αθηροσκλήρωση στις καρωτίδες, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, κατάφερε να εκπληρώσει 4 επιπλέον στόχους:

1. Την ενσωμάτωση μιας βάσης γνώσης για την αθηροσκλήρωση στις καρωτίδες και την πλήρη αξιοποίησή της από το χρήστη μέσα από ένα φιλικό και προσιτό διαδικτυακό περιβάλλον.
2. Τη δυνατότητα χρήσης εικόνων σε μορφή DICOM από το χρήστη έτσι ώστε να έχει στη διάθεσή του όλο τον όγκο πληροφορίας που αυτή μπορεί να προσφέρει τόσο κατά την εισαγωγή ενός νέου ασθενή όσο και κατά την ανάκτησή του.
3. Τη χρήση διαδικτυακών υπηρεσιών οι οποίες έδωσαν τη δυνατότητα επεκτασιμότητας στο σύστημα. Με τη χρήση των διαδικτυακών υπηρεσιών αποκτάται η δυνατότητα να βελτιωθεί το σύστημα που αναπτύχθηκε με την ενσωμάτωση καινούριων χαρακτηριστικών χωρίς να χρειαστεί να σχεδιαστεί ξανά από την αρχή.
4. Την ενσωμάτωση στατιστικών γραφημάτων για την οπτική παρουσίαση του ποσοστού των ασθενών σε συγκεκριμένες κλάσεις της οντολογίας ενώ παράλληλα ο χρήστης έχει τη

δυνατότητα να εξάγει το παραγόμενο γράφημα σε διαφορετικές μορφές όπως για παράδειγμα σε PDF, PNG και JPEG.

Το αποτέλεσμα της διπλωματικής είναι η ανάπτυξη ενός διαδικτυακού συστήματος το οποίο είναι ικανό να αποθηκεύσει και να ανακτήσει ασθενείς από μία οντολογία. Στην παρούσα κατάσταση το σύστημα είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί από ιατρούς ακτινολόγους και ο κύριος στόχος του στο μέλλον είναι να μετατραπεί σε ένα διαδικτυακό σύστημα υγείας το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τόσο από ακτινολόγους όσο και από οποιονδήποτε άλλο σε διαδικασίες ΥΣΥΔ και ΣΥΚΑ.

6.2 Επεκτάσεις συστήματος

Το σύστημα που αναπτύχθηκε μπορεί να εμπλουτιστεί με πληθώρα από νέες λειτουργίες οι οποίες μπορούν να επεκτείνουν τις δυνατότητές του.

Αρχικά το σύστημα θα πρέπει να υποστηρίζει την επιλογή ανεβάσματος πολλαπλών DICOM εικόνων. Με τον τρόπο αυτό ο ιατρός-χρήστης θα μπορεί να έχει μια σημαντικά καλύτερη εικόνα του ασθενή τον οποίο πρόκειται να εισάγει στο σύστημα και επιπλέον θα μπορεί να ανακτηθεί μαζί με το ιστορικό των ιατρικών χαρακτηριστικών του και ιστορικό βάσει των DICOM εικόνων του. Επιπλέον ως μορφή ψηφιακής πληροφορίας θα μπορούσε να υποστηριχθεί σε επόμενη έκδοση της εφαρμογής και βίντεο το οποίο θα μπορούσε να αξιοποιήσει στον υπέρτατο βαθμό την ιατρική πληροφορία των DICOM εικόνων.

Μια δεύτερη επέκταση θα ήταν η ενσωμάτωση ενός συστήματος επισήμανσης έτσι ώστε ο ιατρός να μπορεί μέσα από την εφαρμογή να επισημαίνει και να τονίζει διάφορες περιοχές ενδιαφέροντος πάνω στην εικόνα του ασθενή. Η υλοποίηση μιας τέτοιας επέκτασης θα παρείχε νέες δυνατότητες στην εφαρμογή και παράλληλα η διαδικασία ενσωμάτωσης, λόγω των τεχνολογιών σηματολογικού ιστού που χρησιμοποιήθηκαν, δεν θα ήταν τόσο επίπονη.

Επιπλέον μια από τις κυριότερες επεκτάσεις που θα μπορούσαν να γίνουν στο σύστημα είναι η επέκταση της δομής της οντολογίας έτσι ώστε να υποστηρίζεται κατηγοριοποίηση των ασθενών σε μία πιο αναλυτική κλίμακα επικινδυνότητας. Η επέκταση των κανόνων της οντολογίας έτσι ώστε ο βαθμός επικινδυνότητας της πλάκας ενός ασθενή να μην είναι της μορφής, υψηλού κινδύνου ή όχι θα μπορούσε να δώσει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα στον ιατρό για την κατάσταση του ασθενή, με αποτέλεσμα να του παρέχεται κατάλληλη αντιμετώπιση. Επίσης, η επέκταση αυτή της δομής της οντολογίας θα μπορούσε να αναπαρασταθεί με μία χρωματική κλίμακα στο περιβάλλον του χρήστη της εφαρμογής έτσι ώστε να είναι εύκολα αντιληπτή από μέρος του.

Επιπρόσθετα, θα μπορούσε να ενσωματωθεί τόσο στην εφαρμογή όσο και στη δομή της οντολογίας η πληροφορία χορήγησης στον ασθενή κάποιας φαρμακευτικής αγωγής. Για παράδειγμα ένας ασθενής ο οποίος έχει φυσιολογική πίεση αλλά βρίσκεται υπό φαρμακευτική αγωγή δεν θα ήταν δυνατό να κατηγοριοποιηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στην οντολογία καθώς η πληροφορία της αγωγής θα έλλειπε από το σύστημα. Με την επέκταση αυτή, λοιπόν, θα βελτιωνόταν η αξιοπιστία του συστήματος και τα συμπεράσματα στα οποία αυτό καταλήγει σχετικά με το βαθμό επικινδυνότητας της πλάκας του ασθενή.

Τέλος μια επιπλέον επέκταση του συστήματος θα ήταν η βελτίωση και ο εμπλουτισμός των στατιστικών γραφημάτων που παρουσιάζει η εφαρμογή. Στη μορφή που είναι τώρα η εφαρμογή μπορεί να δώσει στατιστικά σχετικά με το ποσοστό των ασθενών που υπάρχουν σε μία κλάση της οντολογίας. Τα στατιστικά αυτά θα μπορούσαν επεκταθούν και να υποστηρίξουν επίσης και πιο σύνθετα γραφήματα τα οποία θα διευκόλυναν την διαδικασία διαχείρισης και αξιολόγησης του όγκου των ασθενών του συστήματος από τον εκάστοτε ιατρό-χρήστη.

Βιβλιογραφία

- [1] E. Coiera, "Clinical decision support systems," *Guide to health informatics*, vol. 2, 2003.
- [2] G. Goertzel, "Clinical decision support system," *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 161, pp. 689-693, 1969.
- [3] J. M. Hardin and D. C. Chhieng, "Data mining and clinical decision support systems," in *Clinical Decision Support Systems*, ed: Springer, 2007, pp. 44-63.
- [4] M. L. Giger, "Computer-aided diagnosis," *RSNA categorical course in physics*, pp. 283-298, 1993.
- [5] K. Doi, "Computer-aided diagnosis in medical imaging: historical review, current status and future potential," *Computerized medical imaging and graphics*, vol. 31, pp. 198-211, 2007.
- [6] K. Doi, "Current status and future potential of computer-aided diagnosis in medical imaging," *The British journal of radiology*, 2014.
- [7] R. Haux, "Health information systems—past, present, future," *International journal of medical informatics*, vol. 75, pp. 268-281, 2006.
- [8] T. Lippeveld, R. Sauerborn, and C. Bodart, *Design and implementation of health information systems*: World Health Organization, 2000.
- [9] A. Kiryakov, D. Ognyanov, and D. Manov, "OWLIM—a pragmatic semantic repository for OWL," in *Web Information Systems Engineering—WISE 2005 Workshops*, 2005, pp. 182-192.
- [10] B. Bishop, A. Kiryakov, D. Ognyanoff, I. Peikov, Z. Tashev, and R. Velkov, "OWLIM: A family of scalable semantic repositories," *Semantic Web*, vol. 2, pp. 33-42, 2011.
- [11] M. Dean, G. Schreiber, S. Bechhofer, F. Van Harmelen, J. Hendler, I. Horrocks, *et al.*, "OWL web ontology language reference," *W3C Recommendation February*, vol. 10, 2004.
- [12] C. Rosse and J. L. Mejino Jr, "A reference ontology for biomedical informatics: the Foundational Model of Anatomy," *Journal of biomedical informatics*, vol. 36, pp. 478-500, 2003.
- [13] M. Anthea, J. Hopkins, C. W. McLaughlin, S. Johnson, M. Q. Warner, D. LaHart, *et al.*, "Human biology and health," *Englewood Cliffs, New Jersey, USA*, pp. 76-1, 1993.
- [14] A. S. Barb, C.-R. Shyu, and Y. P. Sethi, "Knowledge representation and sharing using visual semantic modeling for diagnostic medical image databases," *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, vol. 9, pp. 538-553, 2005.
- [15] W. Bonney, *Impacts and risks of adopting clinical decision support systems*: INTECH Open Access Publisher, 2011.
- [16] A. Burgun, "Desiderata for domain reference ontologies in biomedicine," *Journal of biomedical informatics*, vol. 39, pp. 307-313, 2006.
- [17] A. L. Catapano, G. Salvioli, and C. Vergani, "High-density lipoproteins: physiopathological aspects and clinical significance," 1987.

- [18] L. Chan, "Hormonal control of apolipoprotein synthesis," *Annual review of physiology*, vol. 45, pp. 615-623, 1983.
- [19] D. Damljanovic, V. Tablan, and K. Bontcheva, "A Text-based Query Interface to OWL Ontologies," in *LREC*, 2008.
- [20] A. Didangelos, D. Simper, C. Monaco, and M. Mayr, "Proteomics of acute coronary syndromes," *Current atherosclerosis reports*, vol. 11, pp. 188-195, 2009.
- [21] C. B. Esselstyn, "Resolving the Coronary Artery Disease Epidemic Through Plant-Based Nutrition," *Preventive cardiology*, vol. 4, pp. 171-177, 2001.
- [22] A. Gastouniotti, S. Golemati, I. Andreadis, V. Koliass, and K. S. Nikita, "Cardiovascular Disease Management via Electronic Health," *Telehealth and Mobile Health*, p. 187, 2015.
- [23] A. Gastouniotti, S. Golemati, J. Stoitsis, and K. Nikita, "Comparison of Kalman-filter-based approaches for block matching in arterial wall motion analysis from B-mode ultrasound," *Measurement Science and Technology*, vol. 22, p. 114008, 2011.
- [24] A. Gastouniotti, S. Golemati, J. Stoitsis, and K. Nikita, "Carotid artery wall motion analysis from B-mode ultrasound using adaptive block matching: in silico evaluation and in vivo application," *Physics in medicine and biology*, vol. 58, p. 8647, 2013.
- [25] A. Gastouniotti, S. Golemati, J. Stoitsis, and K. Nikita, "Adaptive block matching methods for carotid artery wall motion estimation from B-mode ultrasound: in silico evaluation & in vivo application," *Phys. Med. Biol*, vol. 58, pp. 8647-8661, 2013.
- [26] A. Gastouniotti, V. Koliass, S. Golemati, N. N. Tsiaparas, A. Matsakou, J. S. Stoitsis, *et al.*, "CAROTID—A web-based platform for optimal personalized management of atherosclerotic patients," *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 114, pp. 183-193, 2014.
- [27] A. Gastouniotti, S. Makrodimitris, S. Golemati, N. P. Kadoglou, C. D. Liapis, and K. S. Nikita, "A Novel Computerized Tool to Stratify Risk in Carotid Atherosclerosis Using Kinematic Features of the Arterial Wall," *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of*, vol. 19, pp. 1137-1145, 2015.
- [28] A. Gastouniotti, M. Prevenios, and K. S. Nikita, "Using spatiotemporal patterns of the arterial wall to assist treatment selection for carotid atherosclerosis."
- [29] S. Golemati, A. Gastouniotti, and K. S. Nikita, "Toward novel noninvasive and low-cost markers for predicting strokes in asymptomatic carotid atherosclerosis: the role of ultrasound image analysis," *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, vol. 60, pp. 652-658, 2013.
- [30] S. Golemati, S. Lehareas, A. Chatziioanou, D. N. Perrea, A. Gastouniotti, and K. S. Nikita, "Variation of longitudinal strain along the arterial wall adjacent to the asymptomatic carotid plaque," in *Ultrasonics Symposium (IUS), 2015 IEEE International*, 2015, pp. 1-3.
- [31] S. Golemati, S. Lehareas, N. N. Tsiaparas, K. S. Nikita, A. Chatziioannou, and D. N. Perrea, "Ultrasound-image-based texture variability along the carotid artery wall in asymptomatic subjects with low and high stenosis degrees: unveiling morphological phenomena of the vulnerable tissue," *Physics Procedia*, vol. 70, pp. 1208-1211, 2015.
- [32] S. Golemati, J. S. Stoitsis, A. Gastouniotti, A. C. Dimopoulos, V. Koropouli, and K. S. Nikita, "Comparison of block matching and differential methods for motion analysis of the carotid

- artery wall from ultrasound images," *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, vol. 16, pp. 852-858, 2012.
- [33] A. Guyton and A. Hall, "Ιατρική φυσιολογία," *Αθήνα: Εκδόσεις Παρισιάνου ΑΕ*, 2010.
- [34] R. J. Havel, "Triglyceride-Rich Lipoproteins and Plasma Lipid Transport," *Arteriosclerosis Thrombosis and Vascular Biology*, vol. 30, pp. 9-19, Jan 2010.
- [35] N. Kadoglou, G. Sfyroeras, A. Spathis, C. Gkekas, A. Gastouniotti, G. Mantas, *et al.*, "Galectin-3, Carotid Plaque Vulnerability, and Potential Effects of Statin Therapy," *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, vol. 49, pp. 4-9, 2015.
- [36] N. P. Kadoglou, V. Lambadiari, A. Gastouniotti, C. Gkekas, T. G. Giannakopoulos, K. Koulia, *et al.*, "The relationship of novel adipokines, RBP4 and omentin-1, with carotid atherosclerosis severity and vulnerability," *Atherosclerosis*, vol. 235, pp. 606-612, 2014.
- [37] I. J. Kalet, J. L. Mejino, V. Wang, M. Whipple, and J. F. Brinkley, "Content-specific auditing of a large scale anatomy ontology," *Journal of biomedical informatics*, vol. 42, pp. 540-549, 2009.
- [38] J. P. Kane, "Apolipoprotein B: structural and metabolic heterogeneity," *Annual review of physiology*, vol. 45, pp. 637-650, 1983.
- [39] K. Kostick, "SNOMED CT integral part of quality EHR documentation," *Journal of AHIMA/American Health Information Management Association*, vol. 83, p. 72, 2012.
- [40] L. Lezcano, M.-A. Sicilia, and C. Rodríguez-Solano, "Integrating reasoning and clinical archetypes using OWL ontologies and SWRL rules," *Journal of biomedical informatics*, vol. 44, pp. 343-353, 2011.
- [41] J. L. Mejino Jr, D. L. Rubin, and J. F. Brinkley, "FMA-RadLex: An application ontology of radiological anatomy derived from the foundational model of anatomy reference ontology," in *AMIA*, 2008.
- [42] K. S. Nikita, "Atherosclerosis: the evolving role of vascular image analysis," *Computerized medical imaging and graphics*, vol. 37, pp. 1-3, 2013.
- [43] A. Przelaskowski, "Computer-aided diagnosis: From image understanding to integrated assistance," in *Information Technologies in Biomedicine*, ed: Springer, 2008, pp. 44-54.
- [44] T. Redgrave, "A new approach to the physiology of lipid transport," *Physiology*, vol. 3, pp. 10-13, 1988.
- [45] S. M. Royce, R. P. Holmes, T. Takagi, and F. A. Kummerow, "The influence of dietary isomeric and saturated fatty acids on atherosclerosis and eicosanoid synthesis in swine," *The American journal of clinical nutrition*, vol. 39, pp. 215-222, 1984.
- [46] P. Samuel, D. J. McNamara, and J. Shapiro, "The role of diet in the etiology and treatment of atherosclerosis," *Annual review of medicine*, vol. 34, pp. 179-194, 1983.
- [47] E. Sirin and B. Parsia, "SPARQL-DL: SPARQL Query for OWL-DL," in *OWLED*, 2007.
- [48] E. Sirin, B. Parsia, B. C. Grau, A. Kalyanpur, and Y. Katz, "Pellet: A practical owl-dl reasoner," *Web Semantics: science, services and agents on the World Wide Web*, vol. 5, pp. 51-53, 2007.

- [49] M. Q. Stearns, C. Price, K. A. Spackman, and A. Y. Wang, "SNOMED clinical terms: overview of the development process and project status," in *Proceedings of the AMIA Symposium*, 2001, p. 662.
- [50] G. Tzoganis, D. Koutsomitropoulos, and T. S. Papatheodorou, "Querying ontologies: Retrieving knowledge from semantic web documents," in *Proc. of the 3d Panhellenic Student Conference on Informatics, Related Technologies and Applications*, 2009.
- [51] E. Varutbangkul, D. Raicu, and J. Furst, "A computer-aided diagnosis framework for pulmonary nodule interpretation in thoracic computed tomography," in *DePaul CTI Research Symposium*, 2007.
- [52] K. J. Williams and I. Tabas, "The response-to-retention hypothesis of early atherogenesis," *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, vol. 15, pp. 551-561, 1995.
- [53] V. D. Kalias, G. Stamou, S. Golemati, G. Stoitsis, C. D. Gkekas, C. D. Liapis, *et al.*, "A semantically-aided architecture for a web-based monitoring system for carotid atherosclerosis," in *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2015 37th Annual International Conference of the IEEE*, 2015, pp. 1373-1376.