



ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΜΟΝΑΔΩΝ ΥΓΕΙΑΣ (ΔΜΥ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση. Μελέτη γνώσεων και στάσεων ιατρών και τεχνολόγων ακτινολόγων απέναντι στην χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία

ΟΝΟΜ/ΜΟ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ: ΣΥΓΛΕΤΟΥ ANNA

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ:124802

ΟΝΟΜ/ΜΟ Α΄ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ: ΜΑΤΑΛΛΙΩΤΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΟΝΟΜ/ΜΟ Β΄ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ: ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2021

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια καταγράφονται σημαντικές εξελίξεις στις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στον τομέα της ακτινολογίας, οι οποίες στο μέλλον αναμένεται ότι θα βελτιώσουν την ακρίβεια της διάγνωσης και της θεραπείας στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη του επιπέδου γνώσεων και των στάσεων των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων στην Ελλάδα για την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση και τις εφαρμογές της στην ακτινολογία. Η έρευνα ήταν ποσοτική και διεξήχθη ηλεκτρονικά και ανώνυμα, με τη χρήση ενός ερωτηματολογίου που αντλήθηκε από προηγούμενες μελέτες (Ooi et al., 2019; Collado-Mesa et al., 2017). Συγκεντρώθηκε ένα πανελλαδικό δείγμα 140 τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων, το οποίο απάντησε το ερωτηματολόγιο. Το επίπεδο γνώσεων του δείγματος για την τεχνητή νοημοσύνη, μηχανική μάθηση καταγράφεται σε μέτρια προς χαμηλά επίπεδα. Ενώ το 76,43% των συμμετεχόντων γνώριζαν τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση, μόνο το 27,86% δήλωσαν εξοικειωμένοι με τις εφαρμογές της στην ιατρική απεικόνιση, μόνο το 12,86% είχε συμμετάσχει στην επιστημονική έρευνα γύρω από την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ιατρική απεικόνιση και μόλις το 15% είχε χρησιμοποιήσει λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην εργασία τους. Παρ' όλα αυτά, το 84,29% ενδιαφερόταν να έχει μελλοντικά συμμετοχή στην έρευνα και το 40,71% είχε διαβάσει 1-5 επιστημονικά άρθρα για την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στην ιατρική απεικόνιση τους τελευταίους 6 μήνες. Παρά το χαμηλό επίπεδο γνώσεων, οι περισσότεροι τεχνολόγοι και ιατροί ακτινολόγοι στην Ελλάδα είχαν ουδέτερες προς θετικές στάσεις για την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ιατρική απεικόνιση, καθώς σημαντικό ποσοστό του δείγματος συμφώνησε ή συμφώνησε απόλυτα ότι στο μέλλον σκοπεύει να ενισχύσει τις γνώσεις που έχει πάνω στη τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση για τη βελτίωση της απόδοσής του (85%), θεωρούσε ότι η τεχνητή νοημοσύνη πρέπει να ενταχθεί στο πρόγραμμα σπουδών των ακτινολόγων (83,57%) και ότι θα αλλάξει δραστικά τον τομέα της ακτινολογίας στα επρχόμενα 10 έτη (76,43%). Ωστόσο οι ιατροί και τεχνολόγοι ακτινολόγοι ήταν λιγότερο βέβαιοι σχετικά με την επίδραση της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στο επάγγελμά τους σε θέματα όπως το αν αυξήσει τις ευκαιρίες απασχόλησης για τους ακτινολόγους (35,71% ήταν ουδέτεροι), αν θα καταστήσει το προφίλ του

ακτινολόγου πιο τεχνικό (38,57% ήταν ουδέτεροι) και αν θα απαρχαιώσει την εργασία των ακτινολόγων (το 37,86% διαφώνησαν και το 27,14% ήταν ουδέτεροι).

Λέξεις - κλειδιά: τεχνητή νοημοσύνη, μηχανική μάθηση, ιατρική απεικόνιση, ακτινολογία, ακτινολόγοι.

Abstract

In recent years, there have been recorded significant developments in applications of artificial intelligence and machine learning in the field of radiology, which in the future are expected to improve the accuracy of diagnosis and treatment in the field of medical imaging. The purpose of this dissertation is to study the level of knowledge and attitudes of technologists and radiologists in Greece about artificial intelligence / machine learning and its applications in radiology. The research was quantitative and conducted electronically and anonymously, using a questionnaire drawn from previous studies (Col et al., 2019; Collado-Mesa et al., 2017). A nationwide sample of 140 technologists and radiologists was collected, who answered the questionnaire. The level of knowledge of the sample for artificial intelligence machine learning is recorded at moderate to low levels. While 76.43% of the participants knew what artificial intelligence / machine learning was, only 27.86% said they were familiar with its applications in medical imaging, only 12.86% had participated in the scientific research around the application of artificial intelligence / machine learning in medical imaging and only 15% had used artificial intelligence / machine learning software in their work. Nevertheless, 84.29% were interested in participating in the research in the future and 40.71% had read 1-5 scientific articles on artificial intelligence / machine learning in medical imaging during the last 6 months. Despite low level of knowledge, most technologists and radiologists in Greece shaped neutral to positive attitudes towards the application of artificial intelligence / machine learning in medical imaging, as a significant percentage of the sample agreed or strongly agreed that in the future it intends to enhance the knowledge has on artificial intelligence / machine learning in order to improve its performance (85%), considered that artificial intelligence should be included in the curriculum of radiologists (83.57%) and that it will drastically change the field of radiology in the next 10 years (76.43%). However, radiologists and technologists were less confident about the impact of artificial intelligence / machine learning in their profession on issues such as whether it would increase employment opportunities for radiologists (35.71% were neutral), whether it would make the radiologist profile more technical (38.57% were neutral) and whether it would obsolete the work of radiologists (37.86% disagreed and 27.14% were neutral).

Keywords: artificial intelligence, machine learning, medical imaging, radiology, radiologists.

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract	4
Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Εικόνων	9
Εισαγωγή.....	10
Κεφάλαιο 1ο: Τεχνητή νοημοσύνη – θεωρητικό πλαίσιο	12
1.1. Ορισμός τεχνητής νοημοσύνης και σύντομη ιστορία.....	12
1.2. Μηχανική μάθηση.....	14
1.2.1. Επιτηρούμενη μάθηση	15
1.2.2. Μη επιτηρούμενη μάθηση	16
1.2.3. Ενισχυτική μάθηση.....	18
1.3. Βαθιά μάθηση και νευρωνικά δίκτυα	18
Κεφάλαιο 2 ^ο : Η τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση – ανασκόπηση βιβλιογραφίας	23
2.1. Σύντομη ιστορική εξέλιξη τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση	23
2.2. Τομείς εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση	25
2.2.1. Τρόπος λειτουργίας τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία	25
2.2.2. Ακτινολογία θώρακα	27
2.2.3. Ακτινολογία μαστού	29
2.2.4. Ακτινολογία πεπτικού συστήματος	31
2.2.5. Ακτινολογία μυοσκελετικού συστήματος	32
2.2.6. Εφαρμογές σε άλλους τομείς της ακτινολογίας	34
2.3. Οφέλη της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση	37
2.4. Ανησυχίες για την υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση	39
2.5. Γνώσεις ακτινολόγων για την τεχνητή νοημοσύνη και τις εφαρμογές της – έρευνες	43
2.6. Στάσεις ακτινολόγων απέναντι στην αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης – έρευνες	46
Κεφάλαιο 3 ^ο : Μεθοδολογία έρευνας	52
3.1. Σκοπός μελέτης	52

3.2. Ερευνητικά ερωτήματα.....	52
3.3. Μέθοδος έρευνας.....	52
3.4. Δείγμα έρευνας.....	54
3.5. Ερωτηματολόγιο.....	54
3.6. Διαδικασίες έρευνας.....	55
3.7. Ανάλυση δεδομένων.....	55
Κεφάλαιο 4ο: Αποτελέσματα έρευνας.....	56
4.1. Ανάλυση αξιοπιστίας.....	56
4.2. Ανάλυση Δεδομένων.....	56
4.2.1 Δημογραφικά χαρακτηριστικά.....	56
4.2.2. Επίπεδο γνώσεων των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων για τη τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση.....	59
4.2.3. Επίπεδο γνώσεων των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων για τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία.....	61
4.2.4. Στάσεις για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση.....	63
Κεφάλαιο 5 ^ο : Συζήτηση – Συμπεράσματα.....	68
5.1. Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	68
5.2. Συμπεράσματα.....	75
5.3. Περιορισμοί και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	76
Βιβλιογραφία.....	78
Παράρτημα Ι – Ερωτηματολόγιο έρευνας.....	86
Παράρτημα ΙΙ – Πίνακες συχνοτήτων ανάλυσης.....	90

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Ανάλυση αξιοπιστίας: Συντελεστής αξιοπιστίας Cronbach's Alpha.....	56
Πίνακας 2. Δημογραφικά χαρακτηριστικά δείγματος – πίνακας συχνοτήτων	57
Πίνακας 3. Πίνακας συχνοτήτων - Επίπεδο γνώσεων των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων για τη τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση	60
Πίνακας 4. Πίνακας συχνοτήτων - Ποιους από τους παρακάτω επιμέρους τομείς της ακτινολογίας, πιστεύετε ότι θα επηρεάσει η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στα επόμενα δέκα χρόνια;.....	62
Πίνακας 5. Πίνακας συχνοτήτων και περιγραφικών μέτρων - Στάσεις για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση.....	64
Πίνακας 6. Πίνακας μεταβολών του συντελεστή αξιοπιστίας Cronbach's Alpha - Στάσεις για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση	90
Πίνακας 7. Πίνακας συχνοτήτων - Δημογραφικά χαρακτηριστικά – Πόλη / περιοχή εργασίας	92

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Διαγράμματα σχετικών συχνοτήτων επί τις % - Δημογραφικά χαρακτηριστικά δείγματος.....	59
Εικόνα 2. Διαγράμματα σχετικών συχνοτήτων επί τις % - Επίπεδο γνώσεων των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων για τη τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση.....	61
Εικόνα 3. Ραβδόγραμμα σχετικών συχνοτήτων επί τις % - Ποιους από τους παρακάτω επιμέρους τομείς της ακτινολογίας, πιστεύετε ότι θα επηρεάσει η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στα επόμενα δέκα χρόνια;.....	63
Εικόνα 4. Διαγράμματα σχετικών συχνοτήτων επί τις % - Στάσεις για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση.....	65

Εισαγωγή

Η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence) είναι ένας κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών, με επίκεντρο την ανάπτυξη συστημάτων για την εκτέλεση εργασιών που συνήθως απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη (Joshi, 2020). Σήμερα, η τεχνητή νοημοσύνη είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους της πληροφορικής και των υπολογιστών με δυνητικά μεγάλο αντίκτυπο στην υγειονομική περίθαλψη (Corpora et al., 2021).

Τα συστήματα και οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης βασίζονται στα λεγόμενα νευρωνικά δίκτυα, τα οποία απαιτούν μεγάλα σύνολα δεδομένων (Big Data) για την εκπαίδευση των παραγόμενων αλγορίθμων που θα εκτελούν τις ζητούμενες εργασίες. Η ακτινολογία παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, λόγω της διαθεσιμότητας τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων από τους διάφορους τρόπους διαγνωστικής απεικόνισης (π.χ. ακτίνες X, υπερήχους, CT, MRI κ.ο.κ.) που μπορούν να εξαχθούν και να χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση των σχετικών αλγορίθμων (Hosny et al., 2018). Κατά αυτό τον τρόπο, έχουν αναπτυχθεί πρόσφατα πολλές εφαρμογές οι οποίες στηρίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη και οι οποίες δοκιμάζονται ως προς τη χρήση και τα οφέλη τους, στις παραδοσιακές ακτινολογικές δραστηριότητες, όπως η ερμηνεία εικόνων. Για παράδειγμα, έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι για την αυτοματοποιημένη ανάλυση μαστογραφιών και τη διάγνωση του καρκίνου του μαστού, οι οποίοι έχουν συμβάλει σε μειωμένο χρόνο διάγνωσης και αυξημένη ακρίβεια και απόδοση (Sechopoulos et al., 2020).

Η ταχεία επέκταση της τεχνητής νοημοσύνης και η εφαρμογή της στην ιατρική απεικόνιση, πέρα από τις τρέχουσες εφαρμογές, αναμένεται να οδηγήσει σε σημαντική πρόοδο στην πρακτική της ακτινολογίας, καθώς μπορεί να βελτιώσει την απόδοση της εργασίας των ακτινολόγων, να βοηθήσει στην εκτέλεση χρονοβόρων και επαναλαμβανόμενων εργασιών, στην ολοκλήρωση περίπλοκων εργασιών και να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων (ESR, 2019). Ωστόσο σε γενικές γραμμές, οι αντιλήψεις και οι στάσεις των επαγγελματιών του τομέα της ιατρικής απεικόνισης για την εισαγωγή αυτής της νέας τεχνολογίας και το πώς βλέπουν την εισαγωγή της στον τομέα τους, δεν έχει διερευνηθεί σε μεγάλο βαθμό, με έλλειψη σχετικών ερευνών στην Ελλάδα ειδικότερα.

Στο πλαίσιο αυτό, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να μελετήσει τις γνώσεις των ακτινολόγων στην Ελλάδα, αναφορικά με την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση και τις εφαρμογές της στον τομέα της ακτινολογίας, καθώς και τις στάσεις τους απέναντι στη χρήση και αξιοποίηση της νέας αυτής τεχνολογίας στην πρακτική τους. Το θέμα αναλύεται αρχικά θεωρητικά μέσα από την ανασκόπηση της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας και αρθρογραφίας, και κατόπιν εμπειρικά μέσω ποσοτικής μελέτης που έγινε με τη χρήση δομημένου ερωτηματολογίου, σε ένα πανελλαδικό δείγμα 140 ιατρών και τεχνολόγων ακτινολόγων.

Κεφάλαιο 1ο: Τεχνητή νοημοσύνη – θεωρητικό πλαίσιο

1.1. Ορισμός τεχνητής νοημοσύνης και σύντομη ιστορία

Η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence) είναι ένας όρος που έχει οριστεί με διαφορετικούς τρόπους. Σύμφωνα με τους Murphy & Liszewski (2019) η τεχνητή νοημοσύνη είναι ο κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών που ασχολείται με την προσομοίωση της έξυπνης συμπεριφοράς στους υπολογιστές. Ωστόσο ο ακριβής ορισμός της είναι ένα θέμα συζήτησης μεταξύ πολλών ερευνητών.

Σύμφωνα με την Rich (1985) η τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται στη μελέτη του τρόπου με τον οποίο οι υπολογιστές μπορούν να κάνουν πράγματα στα οποία, προς το παρόν, οι άνθρωποι είναι καλύτεροι. Πράγματι, σύμφωνα με τον Ertel (2017), ο ορισμός αυτός χαρακτηρίζει αυτό που κάνουν οι ερευνητές της τεχνητής νοημοσύνης τα τελευταία 50 χρόνια. Η καταγραφή της εγγενούς φύσης της νοημοσύνης είναι ένα από τα πιο συναρπαστικά ερωτήματα στην ιστορία της ανθρωπότητας και η δημιουργία μηχανών με ανθρώπινη ευφυΐα είναι μια από τις πιο συναρπαστικές φιλοδοξίες στην επιστήμη των υπολογιστών (Scarcello, 2018). Ο Ertel (2017) ανέφερε επίσης ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα μπορούσε με απλά λόγια να οριστεί ως μια «έξυπνη» μηχανή που συμπεριφέρεται ως άνθρωπος και δείχνει έξυπνη συμπεριφορά.

Αν και η εκτέλεση πολλαπλών και σύνθετων υπολογισμών σε σύντομο χρονικό διάστημα είναι ένα από τα ισχυρά χαρακτηριστικά των ψηφιακών υπολογιστών, ξεπερνώντας τις ανθρώπινες ικανότητες, σε πολλούς άλλους τομείς, οι άνθρωποι είναι πολύ ανώτεροι από τις μηχανές. Για παράδειγμα, ένα άτομο που εισέρχεται σε μια άγνωστη αίθουσα θα αναγνωρίσει το περιβάλλον άμεσα και αν είναι απαραίτητο θα λάβει γρήγορα αποφάσεις και θα σχεδιάσει τις ενέργειες του. Μέχρι σήμερα, αυτή η εργασία είναι πολύ απαιτητική για τα αυτόνομα ρομπότ. Σύμφωνα με τον ορισμό της Rich (1985), αυτό είναι επομένως ένα καθήκον της επιστήμης της τεχνητής νοημοσύνης. Στην πραγματικότητα, η έρευνα για τα αυτόνομα ρομπότ είναι ένα σημαντικό, τρέχον θέμα στον τομέα. Στο ίδιο πλαίσιο, οι Mitchell, Michalski & Carbonell (2013) όρισαν την τεχνητή νοημοσύνη ως τον κλάδο της επιστήμης των υπολογιστών που είναι αφιερωμένος στη δημιουργία αλγορίθμων που μπορούν να

λύσουν προβλήματα χωρίς να προγραμματίζονται ρητά για όλες τις ιδιαιτερότητες των προβλημάτων.

Σύμφωνα με τον Joshi (2020), η τεχνητή νοημοσύνη σε έναν ευρύτερο ορισμό αναφέρεται σε μηχανιστικές εφαρμογές, οι οποίες είναι σε θέση να εκτελούν μία ή περισσότερες από τις παρακάτω εργασίες: την κατανόηση της ανθρώπινης γλώσσας, την εκτέλεση μηχανικών εργασιών που περιλαμβάνουν πολύπλοκους ελιγμούς και την επίλυση σύνθετων προβλημάτων που βασίζονται σε υπολογιστή που ενδεχομένως να περιλαμβάνουν μεγάλα δεδομένα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και την επιστροφή των απαντήσεων με ανθρώπινο τρόπο, κλπ.

Ο όρος τεχνητή νοημοσύνη πιστώνεται στον John McCarthy, ο οποίος ήταν μαθηματικός και δημιουργός της γλώσσας προγραμματισμού LISP, ο οποίος οργάνωσε ένα θερινό ερευνητικό συνέδριο που πραγματοποιήθηκε το 1956 στο Ντάρτμουθ για την τεχνητή νοημοσύνη. Εκεί θεωρείται πως ήταν και η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε ο όρος της τεχνητής νοημοσύνης. Αυτή η χρονική στιγμή θεωρείται από πολλούς, ως η στιγμή που η τεχνητή νοημοσύνη δημιουργήθηκε ως τομέας ακαδημαϊκής έρευνας (Murphy & Liszewski, 2019). Ο John McCarthy, ανέφερε πως στόχος της τεχνητής νοημοσύνης είναι να αναπτύξει μηχανές που συμπεριφέρονται σαν να ήταν ευφυείς (έξυπνη συμπεριφορά), ωστόσο σύμφωνα με πιο πρόσφατους ορισμούς, ο στόχος της τεχνητής νοημοσύνης είναι η επίλυση δύσκολων πρακτικών προβλημάτων τα οποία είναι πολύ απαιτητικά (Ertel, 2019).

Σύμφωνα με τον Scarcello (2018), η τεχνητή νοημοσύνη συνδέεται στενά με τη λογική, τη συλλογιστική και τη γνωστική επιστήμη και ιστορικά, ο Alan Turing ήταν πιθανώς ο πρώτος που προσπάθησε να «εισάγει» συλλογιστική ικανότητα σε μηχανές. Η έρευνα του με τίτλο «Computing Machinery and Intelligence» (Turing, 1950) ξεκινά με την ακόλουθη διάσημη πρόταση: *«Προτείνω να εξετάσω το ερώτημα: Μπορούν οι μηχανές να σκεφτούν;»*. Ο ερευνητής πρότεινε ένα είδος παιχνιδιού απομίμησης, που είναι παγκοσμίως γνωστό ως «τεστ Turing», για τον προσδιορισμό μιας τέτοιας «έξυπνης μηχανής». Το τεστ Turing ήταν ένα σημαντικό ερέθισμα για την ανάπτυξη μηχανών που παρουσιάζουν ευφυή χαρακτηριστικά, όπως είναι σήμερα τα chatbot, τα οποία είναι εφαρμογές υπολογιστών που μπορούν να συνομιλούν με έναν ανθρώπινο χρήστη. Τελικά, ακόμα και εάν ένα μηχανήμα δεν εμφανίζει όλες τις πτυχές της ανθρώπινης νοημοσύνης, σήμερα έχουν αναπτυχθεί μηχανήματα που εκτελούν άριστα πολλές εργασίες που προηγουμένως ήταν δυνατές μόνο για (έξυπνους) ανθρώπους. Πολλές σύγχρονες μηχανές επιδεικνύουν την ικανότητα

εκμάθησης, η οποία αποτελεί θεμελιώδες χαρακτηριστικό της νοημοσύνης, όπως για παράδειγμα να αναγνωρίζουν αντικείμενα και πρόσωπα, να επεξεργάζονται προτάσεις φυσικής γλώσσας και να εκτελούν πολλές άλλες δύσκολες εργασίες. Η διαθεσιμότητα μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση τέτοιων μηχανών μάθησης έχει οδηγήσει σε σημαντική ανάπτυξη πολλών εφαρμογών που στηρίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη (Murphy & Liszewski, 2019).

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει πολλές εφαρμογές στην ιατρική. Εκτός από την χρήση των ρομπότ στην περίθαλψη των ασθενών, η τεχνητή νοημοσύνη έχει ενισχύσει και εξακολουθεί να ενισχύει ανακαλύψεις στη γενετική και τη μοριακή ιατρική προσφέροντας αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και διαχείρισης γνώσεων. Ένα παράδειγμα εφαρμογής στην ιατρική είναι οι αλγόριθμοι αλληλεπίδρασης πρωτεΐνης-πρωτεΐνης, οι οποίες οδήγησαν σε νέες ανακαλύψεις όσο αφορά τη θέσπιση θεραπευτικών στόχων για διάφορες ασθένειες. Η χρήση σχετικών αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, έδωσε τη δυνατότητα πρόβλεψης περισσότερων από 5.000 πρωτεϊνικών συμπλεγμάτων. Άλλες εφαρμογές στοχεύουν στον εντοπισμό παραλλαγών στο ανθρώπινο DNA, όπως οι πολυμορφισμοί γονιδίων, οι οποίοι είναι σημαντικοί προγνωστικοί παράγοντες ασθενειών (Hamet & Tremblay, 2017).

1.2. Μηχανική μάθηση

Η μηχανική μάθηση (Machine Learning) είναι ένας όρος που συνδέεται στενά με αυτόν της τεχνητής νοημοσύνης. Μια ιδιαίτερη δύναμη της ανθρώπινης νοημοσύνης είναι η προσαρμοστικότητα μέσω της μάθησης. Ο άνθρωπος είναι ικανός να προσαρμόζεται σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες και να αλλάζει τη συμπεριφορά του, ανάλογα με τη μάθηση. Ακριβώς επειδή η ικανότητα μάθησης στον άνθρωπο είναι πολύ ανώτερη από αυτήν των υπολογιστών, η μηχανική μάθηση είναι ένας σημαντικός τομέας μελέτης στην τεχνητή νοημοσύνη (Ertel, 2019).

Ο όρος της μηχανικής μάθησης επινοήθηκε το 1959 από τον Arthur Samuel και αναφέρεται σε ένα πρόγραμμα υπολογιστή που μπορεί να «μάθει» να παράγει μια συμπεριφορά, η οποία δεν έχει προγραμματιστεί ρητά από τον δημιουργό του προγράμματος (Joshi, 2020). Σύμφωνα με τους Lai et al., (2018), η μηχανική μάθηση ορίζεται ως ένας επιμέρους πεδίο της επιστήμης των υπολογιστών, όπου οι αλγόριθμοι μαθαίνουν επαναληπτικά μέσα από ένα σύνολο παρατηρήσεων,

επιστρέφοντας πληροφορίες από δεδομένα, χωρίς να υπάρχει η ανάγκη προγραμματισμού ρητών δοκιμών. Ένα σύστημα υπολογιστή θεωρείται ότι μαθαίνει, όταν βελτιώνει την απόδοση του ή τις γνώσεις του λόγω εμπειρίας ή όταν προσαρμόζεται σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Η εμπειρία μπορεί να είναι του συστήματος που μαθαίνει ή μπορεί να παρέχεται εξωτερικά, για παράδειγμα, με τη μορφή δεδομένων από τα οποία μαθαίνει το σύστημα. Αν και η πλειονότητα των μεθόδων μηχανικής μάθησης αφορούν τη μάθηση από δεδομένα, αυτή δεν είναι η μόνη διαθέσιμη μορφή μάθησης. Τα αποτελέσματα της μηχανικής μάθησης έχουν τη μορφή γνώσης ή μοντέλων (λειτουργιών), τα οποία αντιπροσωπεύουν ό,τι έχει μάθει το σύστημα και χρησιμοποιούνται συχνότερα για να κάνουν προβλέψεις για το μέλλον (Seel, 2012).

Οι μηχανές μαθαίνουν νέες συμπεριφορές με βάση τρεις παράγοντες: (1) τα δεδομένα που καταναλώνονται από το πρόγραμμα, (2) μια μέτρηση που ποσοτικοποιεί το σφάλμα ή κάποια μορφή απόστασης μεταξύ της τρέχουσας συμπεριφοράς και της ιδανικής συμπεριφοράς και (3) έναν μηχανισμό ανατροφοδότησης που χρησιμοποιεί το ποσοτικοποιημένο σφάλμα για να καθοδηγήσει το πρόγραμμα, ώστε να παράγει καλύτερη συμπεριφορά στα επόμενα συμβάντα. Οι μέθοδοι της μηχανικής μάθησης είναι απαραίτητες για την κατασκευή συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης (Joshi, 2020).

Ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης προβλέπει την τιμή εξόδου του y , δεδομένης της εισόδου x . Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: τους αλγόριθμους επιτηρούμενης μάθησης, τους αλγόριθμους μη επιτηρούμενης μάθησης και τους αλγόριθμους ενισχυτικής μάθησης (Joshi, 2020).

1.2.1. Επιτηρούμενη μάθηση

Στους αλγόριθμους επιτηρούμενης (ή εποπτευόμενης μάθησης), παρέχονται δεδομένα που αποτελούνται από μεταβλητές εισόδου και εξόδου. Έτσι το x και το y είναι γνωστά. Η επιτηρούμενη μάθηση είναι ένα παράδειγμα μηχανικής μάθησης για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τη σχέση εισόδου-εξόδου των δεδομένων σε ένα σύστημα και έτσι βασίζεται σε ένα δεδομένο σύνολο ζευγών εισόδου και εξόδου (x - y). Ο στόχος της επιτηρούμενης μάθησης είναι να «χτίσει» ένα τεχνητό σύστημα, το

οποίο μαθαίνει τη σχέση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου και μπορεί να προβλέπει την έξοδο του συστήματος, δεδομένων νέων δεδομένων εισόδου. Εάν η έξοδος λαμβάνει ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών τιμών που υποδεικνύουν τις ετικέτες κλάσης της εισόδου, η μάθηση που αποκτάται οδηγεί στην ταξινόμηση των δεδομένων εισόδου. Εάν η έξοδος λαμβάνει συνεχείς τιμές, οδηγεί σε παλινδρόμηση της εισόδου (Li & Wu, 2012).

Οι πληροφορίες σχέσης εισόδου-εξόδου παρουσιάζονται συχνά με την χρήση των παραμέτρων ενός μοντέλου μάθησης. Όταν αυτές οι παράμετροι δεν είναι άμεσα διαθέσιμες από δείγματα εκπαίδευσης, το σύστημα πρέπει να περάσει από μια διαδικασία εκτίμησης για να λάβει αυτές τις παραμέτρους. Σε αντίθεση με την μη επιτηρούμενη μάθηση, τα δεδομένα εκπαίδευσης για την επιτηρούμενη μάθηση χρειάζονται επιτηρούμενες ή επισημασμένες πληροφορίες, ενώ τα δεδομένα εκπαίδευσης για τη μη επιτηρούμενη μάθηση δεν είναι εποπτευόμενα, καθώς δεν φέρουν ετικέτα (δηλαδή τις εισόδους). Εάν ένας αλγόριθμος χρησιμοποιεί τόσο επιτηρούμενα, όσο και μη επιτηρούμενα εκπαιδευτικά δεδομένα, ονομάζεται αλγόριθμος ημι-επιτηρούμενης μάθησης (semi-supervised learning). Εάν ένας αλγόριθμος ρωτά ενεργά έναν χρήστη / δάσκαλο για ετικέτες στη διαδικασία εκπαίδευσης, η επαναληπτική επιτηρούμενη μάθηση ονομάζεται ενεργός μάθηση (Liu & Wu, 2012).

Η επιτηρούμενη μάθηση είναι ο πιο κοινός τύπος αλγορίθμου μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιείται στην έρευνα της ακτινολογίας και της ιατρικής απεικόνισης. Περιλαμβάνει την εκπαίδευση ενός αλγορίθμου από ένα σύνολο εικόνων ή δεδομένων, όπου οι ετικέτες εξόδου είναι ήδη γνωστές. Το πρόβλημα της ταξινόμησης που αναφέρθηκε νωρίτερα, αναφέρεται στην πρόβλεψη του κατά πόσον μια εικόνα εμπίπτει σε μία ή περισσότερες κατηγορίες, ενώ η παλινδρόμηση στοχεύει στην πρόβλεψη μιας συνεχούς ετικέτας. Η μηχανική μάθηση στην ιατρική απεικόνιση ασχολείται κυρίως με την ταξινόμηση εικόνων (Rashidi et al., 2019).

1.2.2. Μη επιτηρούμενη μάθηση

Αντίθετα στους αλγορίθμους μη επιτηρούμενης μάθησης, δεν παρέχεται η επιθυμητή έξοδος και το μοντέλο απλώς επιχειρεί να συλλάβει τις εξαρτήσεις μεταξύ των μεταβλητών εισόδου και να παράγει μια καλή αναπαράσταση των εισόδων στη διαδικασία. Η μη επιτηρούμενη μάθηση έχει διπλό στόχο: να διασφαλίσει ότι αυτή η

αναπαράσταση περιέχει όλες τις σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα (π.χ., διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα μπορούν να ανακατασκευαστούν από την αναπαράσταση), καθιστώντας την παράλληλα, πιο κατάλληλη για περαιτέρω επεξεργασία, όπως η ταξινόμηση (Liu & Wu, 2012).

Το αντίστοιχο πρόβλημα της ταξινόμησης της επιτηρούμενης μάθησης, είναι η ομαδοποίηση στην μη επιτηρούμενη μάθηση. Αντί να προσπαθούν να προβλέψουν μια συγκεκριμένη έξοδο για κάθε είσοδο, οι αλγόριθμοι μη επιτηρούμενης μάθησης επιχειρούν να ανακαλύψουν την υποκείμενη δομή των δεδομένων εισόδου, ομαδοποιώντας τα δεδομένα εισόδου με παρόμοια χαρακτηριστικά (ομαδοποίηση – συστάδες). Ο στόχος της ανάλυσης συστάδων είναι να ομαδοποιηθούν «παρόμοια» αντικείμενα / δείγματα. Η «ομοιότητα» ορίζεται τυπικά σε όρους μέτρησης ή βάσει ενός μοντέλου πυκνότητας πιθανότητας, τα οποία εξαρτώνται και από τα χαρακτηριστικά που αντιπροσωπεύουν κάθε δείγμα δεδομένων. Η επιλογή των χαρακτηριστικών για τη μη επιτηρούμενη μάθηση προσδιορίζει ποιο χαρακτηριστικό είναι χρήσιμο για την εύρεση παρόμοιων δομών (συστάδων) σε μια ομάδα δεδομένων (είσοδοι).

Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί για την επίτευξη της ομαδοποίησης και η αποτελεσματικότητα καθενός εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος του συνόλου δεδομένων και την κατανομή των σημείων δεδομένων. Ο πιο δημοφιλής αλγόριθμος στον τομέα της μηχανικής μάθησης είναι ο αλγόριθμος K-means, ο οποίος επιδιώκει να ομαδοποιήσει ένα σύνολο δεδομένων σε έναν αριθμό K συστάδων. Ένα παράδειγμα ενός πιο προηγμένου αλγορίθμου είναι η Πυκνότητα Εφαρμογών με Θόρυβο (DBSCAN), ο οποίος είναι πιο αποτελεσματικός για δεδομένα που ακολουθούν την κατανομή Gauss.

Στην ακτινολογία (καθώς και στην παθολογία), μέσω της ομαδοποίησης, δημιουργούνται ομάδες δεδομένων, τα οποία μπορεί να αντιστοιχούν σε σύνολα εικόνων, αναφορών ή ασθενών, με βάση ομοιότητες ως προς διάφορα χαρακτηριστικά, χωρίς το σύστημα να προγραμματίζεται ρητά για τις ετικέτες βάσει των οποίων θα γίνει η ομαδοποίηση. Έτσι, η ομαδοποίηση έχει τη δυνατότητα να αποκαλύψει ομοιότητες σε δεδομένα που παραβλέπονται από τον άνθρωπο. Σε πρακτικό επίπεδο, η ομαδοποίηση μέσω των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, έχει αποδειχθεί χρήσιμη για την ακτινολογία, και χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό διαφορετικών τύπων ιστών ή και τη διαφοροποίηση μεταξύ του παθολογικού και του φυσιολογικού ιστού (Naqa et al., 2020).

1.2.3. Ενισχυτική μάθηση

Τέλος στην ενισχυτική μάθηση, ο στόχος είναι να ανακαλυφθεί μια ακολουθία λειτουργιών που οδηγούν σε μια λύση που μεγιστοποιεί την «ανταμοιβή». Η ενισχυτική μάθηση είναι ένας ειδικός τύπος μεθόδου μάθησης που αντιμετωπίζεται ξεχωριστά από τις μεθόδους επιτηρούμενης και μη επιτηρούμενης μάθησης, καθώς συνεπάγεται την παροχή ανατροφοδότησης από το περιβάλλον, επομένως δεν είναι ακριβώς χωρίς επιτήρηση, ωστόσο, δεν διαθέτει ένα σύνολο επισημασμένων δειγμάτων για εκπαίδευση και ως εκ τούτου, δεν μπορεί να θεωρηθεί ως επιτηρούμενη μάθηση. Στις μεθόδους ενισχυτικής μάθησης, το σύστημα αλληλεπιδρά συνεχώς με το περιβάλλον αναζητώντας την επιθυμητή συμπεριφορά και λαμβάνει ανατροφοδότηση από το περιβάλλον (Joshi, 2020).

1.3. Βαθιά μάθηση και νευρωνικά δίκτυα

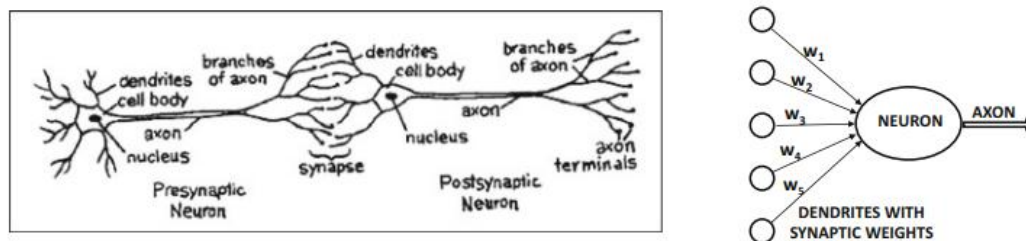
Από την ανάπτυξη της μηχανικής μάθησης, ο τομέας αυτός έχει αναπτυχθεί εκτενώς, καθώς τα διάφορα μοντέλα και τεχνικές έγιναν πιο ακριβή και περίπλοκα και καθώς η υπολογιστική ισχύς επέτρεψε πιο περίπλοκους υπολογισμούς. Μια από τις τεχνικές μηχανικής μάθησης που αναπτύχθηκε είναι και η προσέγγιση της βαθιάς μάθησης (Deep Learning), ένας όρος που χρησιμοποιείται για διάφορα μοντέλα και πλαίσια νευρωνικών δικτύων. Έτσι η βαθιά μάθηση είναι ένα υποσύνολο της μηχανικής μάθησης που βασίζεται στη δομή των νευρωνικών δικτύων (Zou et al., 2019).

Τα νευρωνικά δίκτυα είναι τεχνητά προσαρμοστικά συστήματα που εμπνέονται από τις λειτουργικές διαδικασίες του ανθρώπινου εγκεφάλου. Είναι συστήματα που μπορούν να τροποποιήσουν την εσωτερική δομή τους, σε σχέση με έναν στόχο λειτουργίας και συνεπώς είναι κατάλληλα για την επίλυση προβλημάτων μη γραμμικού τύπου, καθώς και να ανακατασκευάσουν τους ασαφείς κανόνες που οδηγούν στη βέλτιστη λύση για αυτά τα προβλήματα. Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο είναι ουσιαστικά ένας συνδυασμός νευρώνων για την εκτέλεση πολύπλοκων μετασχηματισμών των δεδομένων εισόδου (Wang & Huang, 2019).

Η δομή ενός νευρωνικού δικτύου στην μηχανική μάθηση, βασίζεται στη δομή των νευρώνων στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks) είναι δημοφιλείς τεχνικές μηχανικής μάθησης, οι οποίες

προσομοιώνουν τους μηχανισμούς μάθησης που λαμβάνουν χώρα στους ζωντανούς βιολογικούς οργανισμούς. Το ανθρώπινο νευρικό σύστημα αποτελείται από νευρώνες, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με άξονες και δενδρίτες και οι περιοχές σύνδεσης μεταξύ αξόνων και δενδριτών ονομάζονται συνάψεις. Το βασικό χαρακτηριστικό των συναπτικών συνδέσεων είναι ότι αλλάζουν συχνά, ως απόκριση σε εξωτερικά ερεθίσματα και αυτές οι αλλαγές είναι ο τρόπος με τον οποίο η μάθηση λαμβάνει χώρα στους βιολογικούς οργανισμούς (Wang & Huang, 2019).

Ο παραπάνω βιολογικός μηχανισμός προσομοιώνεται στα τεχνητά νευρικά δίκτυα, τα οποία αποτελούνται από μονάδες υπολογισμού που ονομάζονται νευρώνες. Κάθε μεμονωμένος τεχνητός νευρώνας προσομοιώνει τους μηχανισμούς επεξεργασίας σήματος των βιολογικών νευρώνων. Οι νευρώνες συνδέονται μεταξύ τους με συνάψεις, οι οποίες εξυπηρετούν τον ίδιο ρόλο με τις συναπτικές συνδέσεις στους βιολογικούς οργανισμούς. Κάθε νευρώνας έχει τη δική του είσοδο, από την οποία λαμβάνει δεδομένα από άλλους κόμβους ή και από το περιβάλλον, καθώς και τη δική του έξοδο, από την οποία επικοινωνεί με άλλους κόμβους ή με το περιβάλλον. Κάθε είσοδος που εισέρχεται σε έναν νευρώνα έχει ένα βάρος (w), το οποίο επηρεάζει τη συνάρτηση που υπολογίζεται σε αυτήν την υπολογιστική μονάδα. Επίσης, κάθε νευρώνας έχει μια συνάρτηση f μέσω της οποίας μετατρέπει τη δική του είσοδο σε έξοδο (Aggarwal, 2018). Αυτή η αρχιτεκτονική απεικονίζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Βιολογικό νευρωνικό δίκτυο (αριστερά) και τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (δεξιά)

Πηγή: Aggarwal (2018)

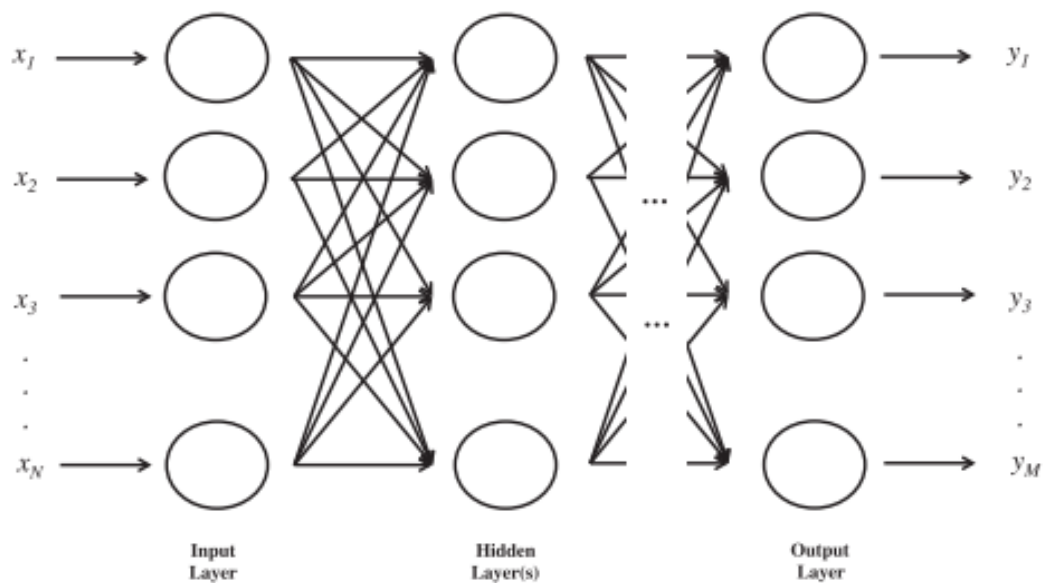
Στο σύνολό του, ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο υπολογίζει μια συνάρτηση των εισόδων, μέσω της διάδοσης των υπολογισμένων τιμών από τους νευρώνες εισόδου στους νευρώνες εξόδου, χρησιμοποιώντας τα βάρη των συνδέσεων ως ενδιάμεσες παραμέτρους. Η μάθηση στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα λαμβάνει χώρα, αλλάζοντας

τα βάρη που συνδέουν τους νευρώνες. Ακριβώς κατά τον τρόπο με τον οποίο απαιτούνται εξωτερικά ερεθίσματα για τη μάθηση σε βιολογικούς οργανισμούς, το εξωτερικό ερέθισμα στα τεχνητά νευρικά δίκτυα παρέχεται από τα δεδομένα εκπαίδευσης, τα οποία αποτελούν παραδείγματα ζευγών εισόδου-εξόδου της συνάρτησης που πρέπει να μαθευτεί. Για παράδειγμα, τα δεδομένα εκπαίδευσης μπορούν να περιέχουν αναπαραστάσεις εικόνων (είσοδος) και τις επισημασμένες ετικέτες τους (π.χ. καρότο, μπανάνα – σε τι αντιστοιχεί η κάθε εικόνα) ως έξοδο. Αυτά τα ζεύγη δεδομένων τροφοδοτούνται (εισάγονται) στο νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιώντας τις αναπαραστάσεις εισόδου, ώστε να κάνουν προβλέψεις σχετικά με τις ετικέτες εξόδου. Τα δεδομένα εκπαίδευσης παρέχουν ανατροφοδότηση για την ορθότητα των βαρών στο νευρικό δίκτυο, ανάλογα με το πόσο καλά η προβλεπόμενη έξοδος (π.χ., πιθανότητα καρότου) για μια συγκεκριμένη είσοδο ταιριάζει με την επισημασμένη ετικέτα εξόδου στα δεδομένα εκπαίδευσης (Aggarwal, 2018).

Τα βάρη μεταξύ των νευρώνων προσαρμόζονται σε ένα νευρικό δίκτυο σε απόκριση σε σφάλματα πρόβλεψης. Ο στόχος της αλλαγής των βαρών είναι η τροποποίηση της υπολογιστικής συνάρτησης, ώστε οι προβλέψεις να είναι πιο σωστές σε μελλοντικές επαναλήψεις. Επομένως, τα βάρη αλλάζουν προσεκτικά με μαθηματικά δικαιολογημένο τρόπο, ώστε να μειωθεί το σφάλμα υπολογισμού. Ρυθμίζοντας διαδοχικά τα βάρη μεταξύ των νευρώνων σε πολλά ζεύγη εισόδου-εξόδου, η συνάρτηση που υπολογίζεται από το νευρωνικό δίκτυο βελτιώνεται με την πάροδο του χρόνου, έτσι ώστε να παρέχει πιο ακριβείς προβλέψεις. Επομένως, εάν το νευρωνικό δίκτυο έχει εκπαιδευτεί με πολλές διαφορετικές εισόδους (π.χ. πολλές εικόνες από μπανάνες), θα μπορέσει τελικά να αναγνωρίσει σωστά μια νέα είσοδο, την οποία δεν έχει λάβει στο παρελθόν (Aggarwal, 2018).

Σε ότι αφορά την αρχιτεκτονική τους, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι διατεταγμένα σε διασυνδεδεμένα στρώματα, όπου κάθε νευρώνας λαμβάνει μια είσοδο από το προηγούμενο στρώμα, την επεξεργάζεται με τη συνάρτηση ενεργοποίησης και στη συνέχεια εξάγει ένα σήμα στο επόμενο στρώμα. Ένα τυπικό νευρωνικό δίκτυο, έχει συνήθως ένα επίπεδο εισόδου, ένα ή περισσότερα κρυφά στρώματα και ένα επίπεδο εξόδου (Εικόνα 2). Καθώς οι πληροφορίες μεταδίδονται προς τα εμπρός μέσω του δικτύου, υποβάλλονται σε επεξεργασία σε κάθε επίπεδο, με βάση τα βάρη και την συνάρτηση ενεργοποίησης. Τέλος, το επίπεδο εξόδου χρησιμοποιεί την συνάρτηση ενεργοποίησης για να προβλέψει την έξοδο, για

παράδειγμα, εάν τα αποτελέσματα της απεικόνισης μπορούν να ταξινομηθούν ως καρκινικά (Wang & Huang, 2019).



Εικόνα 2. Αρχιτεκτονική ενός τυπικού τεχνητού νευρωνικού δικτύου

Πηγή: Guarascio (2018)

Μια τυπική διαδικασία μάθησης για τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι η επιτηρούμενη μάθηση. Μέσω της επιτηρούμενης μάθησης, παρέχεται η δυνατότητα ανακάλυψης διακριτικών προτύπων σε ένα σύνολο δεδομένων, για σκοπούς ταξινόμησης, υποθέτοντας ότι τα δεδομένα εισόδου είναι πάντα διαθέσιμα σε άμεσες ή έμμεσες μορφές. Ωστόσο, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη μη επιτηρούμενη μάθηση, όταν δεν υπάρχουν καθόλου ή όταν υπάρχουν λίγες πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα εξόδου. Αυτή η αρχιτεκτονική στοχεύει στην εξαγωγή ενός συσχετισμού υψηλής τάξης από δεδομένα για σκοπούς ανάλυσης προτύπων. Στη πράξη αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές αναγνώρισης αντικειμένων, εφαρμογές αναγνώρισης προσώπου, κλπ. (Guarascio, 2018).

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα στην επιτηρούμενη μάθηση, διαχωρίζονται σε δύο τύπους, οι οποίοι είναι τα Συνελκτικά Νευρωνικά Δίκτυα και τα Αναδρομικά Νευρωνικά Δίκτυα. Το πρώτο σύγχρονο συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (Convolutional Neural Networks) που εκπαιδεύτηκε, εισήχθη το έτος 1989 από τον Yann LeCun, με το όνομα LeNet5. Αυτά τα δίκτυα αναπτύχθηκαν κυρίως για σκοπούς ανάλυσης εικόνων και γενικά τρισδιάστατων δεδομένων. Η αρχιτεκτονική

ενός συνελκτικού νευρωνικού δικτύου είναι πολύ παρόμοια με αυτήν του τεχνητού νευρωνικού δικτύου, αλλά η είσοδος είναι αντ' αυτού μια τρισδιάστατη εικόνα. Σε σύγκριση με τις διανυσματικές εισόδους των τεχνητών νευρωνικών δικτύων, οι εικόνες είναι συχνά τρισδιάστατα δεδομένα που έχουν δύο διαστάσεις των εικονοστοιχείων της εικόνας και μια επιπλέον διάσταση, αυτή του βάθους. Σε ότι αφορά τα αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα, αυτά δεν χρησιμοποιούν μόνο τις εισόδους του προηγούμενου στρώματος, αλλά και προηγούμενες πληροφορίες που παρατηρούνται σε μεμονωμένους νευρώνες. Επιτρέποντας στις πληροφορίες να παραμένουν στο δίκτυο, τα αναδρομικά νευρωνικά δίκτυα μπορούν να «απομνημονεύσουν» προηγούμενες εισόδους και να τις εφαρμόσουν για να κάνουν ακριβείς προβλέψεις. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι πολύ κρίσιμο στα συστήματα αναγνώρισης ομιλίας, καθώς και στα συστήματα μετάφρασης (Wang & Huang, 2018).

Κεφάλαιο 2^ο: Η τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση – ανασκόπηση βιβλιογραφίας

2.1. Σύντομη ιστορική εξέλιξη τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση

Αν και οι περισσότερες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία είναι πρόσφατες, η τεχνητή νοημοσύνη δεν είναι μια νέα ιδέα στον τομέα αυτό. Οι δυνατότητες χρήσης της τεχνητής νοημοσύνης για τη στήριξη της λήψης αποφάσεων στην ακτινολογία έχουν συζητηθεί από τη δεκαετία του 90 (Jalal et al., 2019).

Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση ως εργαλεία ανάλυσης ιατρικών εικόνων έχουν τις ρίζες τους στα συστήματα ανίχνευσης μέσω υπολογιστή (computer-aided detection - CAD) και στα συστήματα διάγνωσης μέσω υπολογιστή (computer-aided diagnosis - CADx) που άρχισαν να αναπτύσσονται αρκετά γρήγορα με την έλευση της ψηφιακής ακτινογραφίας και των συστημάτων ηλεκτρονικής αρχειοθέτησης και επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων (Picture Archiving and Communication Systems - PACS) στο τελευταίο μισό του 20ου και στις αρχές του 21ου αιώνα. Τα συστήματα CAD αποτελούν πρόδρομους των σύγχρονων συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης (Krupinski, 2019).

Τα συστήματα CAD αναπτύχθηκαν ευρέως στη δεκαετία του 90 και αποτελούν συστήματα που υποστηρίζουν τους ιατρούς και κυρίως τους ακτινολόγους στην ερμηνεία ιατρικών εικόνων. Τα συστήματα CAD δεν αποτελούν αυτοματοποιημένα συστήματα στα οποία η τελική διάγνωση βασίζεται μόνο σε αλγόριθμο υπολογιστή. Αντ' αυτού είναι συστήματα, των οποίων η έξοδος, αποτελεί βοηθητικό εργαλείο για τους ακτινολόγους και τους ιατρούς ώστε να κάνουν διαγνώσεις. Ως μια πρώιμη μορφή τεχνητής νοημοσύνης, τα συστήματα CAD έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς στον τομέα της ακτινολογίας για πολλά χρόνια. Οι πιο συνήθεις εφαρμογές τους είναι στην ανίχνευση του καρκίνου του μαστού στη μαστογραφία και των πνευμονικών οζιδίων στην υπολογιστική τομογραφία του στήθους (Jalalian et al., 2013).

Ενώ πολλοί υποστήριζαν ότι αυτά τα συστήματα θα μειώσουν σημαντικά τα ποσοστά σφαλμάτων και τους χρόνους ερμηνείας των ιατρικών απεικονίσεων και θα συμβάλλουν στην πιο έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου, οι μελέτες έχουν δείξει ότι αυτά τα συστήματα δεν έχουν συνεισφέρει σε σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση

της ανίχνευσης ή στην σχέση κόστους - αποτελεσματικότητας, κυρίως λόγω της χαμηλής τους ειδικότητας (Rodriguez – Ruiz et al., 2019).

Οι πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της μηχανικής μάθησης και της βαθιάς μάθησης έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν εκθετικά τόσο το δυναμικό υπολογιστικής ισχύος, όσο και την ποιότητα εξόδου τέτοιων αναλυτικών στοιχείων υποστήριξης της ιατρικής απεικόνισης. Πρόσφατα η τεχνητή νοημοσύνη, αποτελεί σύμφωνα με τους Pesapane et al., (2019) έναν νέο «άνεμο αλλαγής» στον τομέα της ακτινολογίας και υπάρχει μεγάλος ενθουσιασμός και δυναμισμός γύρω από την ανάπτυξη συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία. Σύμφωνα με τους ερευνητές αυτό απεικονίζεται στην αύξηση των επιστημονικών δημοσιεύσεων πάνω στο θέμα. Μόλις πριν από 10 χρόνια, ο συνολικός αριθμός των δημοσιεύσεων που αφορούσαν την τεχνητή νοημοσύνη πάνω στην ακτινολογία δεν ξεπερνούσε τις 300, ωστόσο στη συνέχεια σημειώθηκε σημαντική άνοδος με περισσότερες από 700-800 δημοσιεύσεις ετησίως το 2016–17. Η υπολογιστική τομογραφία (CT) και η μαγνητική τομογραφία (MRI) αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% των επιστημονικών δημοσιεύσεων, αν και η ακτινογραφία, η μαστογραφία και ο υπέρηχος παρουσιάζονται επίσης με μεγάλη συχνότητα. Άλλες επιστημονικές δημοσιεύσεις αφορούν την νευροακτινολογία (αντιπροσωπεύει περίπου το ένα τρίτο των άρθρων), ακολουθούμενη από την ακτινολογία του μυοσκελετικού συστήματος, του καρδιαγγειακού συστήματος, του στήθους, του ουρογεννητικού συστήματος, του θώρακα και του πεπτικού συστήματος, τομείς οι οποίοι τα ποσοστά δημοσιεύσεων κυμαίνονται μεταξύ 6% και 9% (Pesapane et al., 2019). Στα επερχόμενα 5-10 έτη εκτιμάται ότι ένας σημαντικός αριθμός περιπτώσεων χρήσης θα είναι διαθέσιμος για εφαρμογή στην ιατρική απεικόνιση (Ranschaert et al., 2020).

Σήμερα καταβάλλονται σημαντικές προσπάθειες και εφαρμόζονται πολιτικές για τη διευκόλυνση της τεχνολογικής προόδου που σχετίζεται με την τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση. Σχεδόν όλες οι εργασίες στον τομέα της ακτινολογίας που βασίζονται στην εικόνα εξαρτώνται από τον ποσοτικό προσδιορισμό και την αξιολόγηση των ακτινογραφικών χαρακτηριστικών σε εικόνες. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να είναι σημαντικά για την κλινική εργασία, δηλαδή για την ανίχνευση, τον χαρακτηρισμό ή την παρακολούθηση ασθενειών. Η εφαρμογή της λογικής και της στατιστικής αναγνώρισης προτύπων στα προβλήματα στην ιατρική έχει προταθεί από τις αρχές της δεκαετίας του 1960. Καθώς οι υπολογιστές έγιναν πιο διαδεδομένοι τη δεκαετία του 1980, η αυτοματοποίηση πολλών κλινικών εργασιών

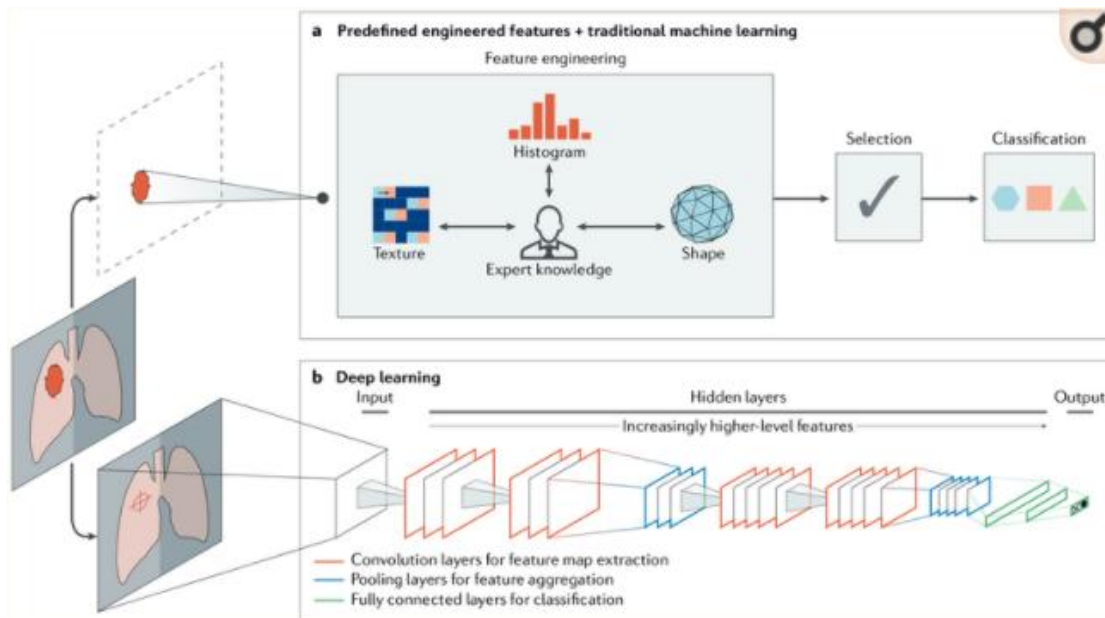
που τροφοδοτείται από την τεχνητή νοημοσύνη έχει καταστήσει την ακτινολογία ένα πιο τεχνικό και υπολογιστικό επάγγελμα. Ο ρυθμός με τον οποίο η τεχνητή νοημοσύνη εξελίσσεται στον τομέα της ακτινολογίας είναι παράλληλος με αυτόν σε άλλους τομείς εφαρμογής και είναι ανάλογος με την ταχεία ανάπτυξη δεδομένων και υπολογιστικής ισχύος (Hosny et al., 2018).

Στην ενότητα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στους διαφορετικούς τομείς της ακτινολογίας.

2.2. Τομείς εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση

2.2.1. Τρόπος λειτουργίας τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία

Σήμερα έχουν αναπτυχθεί διάφορες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης και σύμφωνα με τους Hosny et al., (2018) υπάρχουν δύο κατηγορίες μεθόδων, μέσω των οποίων αξιοποιείται η τεχνητή νοημοσύνη στον τομέα αυτό. Η πρώτη μέθοδος (Εικόνα 3-α) βασίζεται σε μηχανικά χαρακτηριστικά που εξάγονται από περιοχές ενδιαφέροντος βάσει γνώσεων ειδικών. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται «κατασκευασμένα» χαρακτηριστικά που ορίζονται σε όρους μαθηματικών εξισώσεων (όπως η υφή του όγκου), τα οποία μπορούν να ποσοτικοποιηθούν χρησιμοποιώντας προγράμματα υπολογιστών. Αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται ως είσοδοι σε υπερσύγχρονα μοντέλα μηχανικής μάθησης που έχουν εκπαιδευτεί για να ταξινομήσουν τους ασθενείς με διάφορους τρόπους, υποστηρίζοντας έτσι τη λήψη κλινικών αποφάσεων. Αν και αυτά τα χαρακτηριστικά θεωρούνται διακριτικά, βασίζονται στις γνώσεις των εμπειρογνομόνων και ως εκ τούτου δεν αντιπροσωπεύουν πάντα τη βέλτιστη προσέγγιση ποσοτικοποίησης χαρακτηριστικών. Σε αυτή την κατηγορία μεθόδων, ένα παράδειγμα είναι τα χαρακτηριστικά, που χρησιμοποιούνται στον χαρακτηρισμό του καρκίνου και περιλαμβάνουν τον όγκο, το σχήμα, την υφή, την ένταση και τη θέση του όγκου (Hosny et al., 2018).



Εικόνα 3. Μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση

Πηγή: Hosney et al., (2018)

Η δεύτερη κατηγορία μεθόδων, που είναι και η πιο σημαντική και με τις περισσότερες εφαρμογές είναι η βαθιά μάθηση (Εικόνα 3-β). Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης μπορούν να μάθουν αυτόματα (μέσω της εκπαίδευσης) αναπαραστάσεις χαρακτηριστικών από δεδομένα, χωρίς να απαιτείται η ανθρώπινη παρέμβαση. Μέσω των αλγορίθμων βαθιάς μάθησης, μπορούν αυτόματα να ποσοτικοποιηθούν τα φαινοτυπικά χαρακτηριστικά των ανθρώπινων ιστών, εισάγοντας ουσιαστικές βελτιώσεις στη διάγνωση και την κλινική φροντίδα. Η βαθιά μάθηση έχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της μείωσης της ανάγκης για χειροκίνητα βήματα προεπεξεργασίας. Επειδή η βαθιά μάθηση καθοδηγείται από δεδομένα, μπορεί να εντοπίσει αυτόματα προβληματικούς ιστούς και κατά αυτό τον τρόπο, δεν υπάρχει η ανάγκη για τμηματοποιήσεις που καθορίζονται από ειδικούς (Hosny et al., 2018).

Δεδομένης της ικανότητας των αλγορίθμων να μαθαίνουν πολύπλοκες αναπαραστάσεις δεδομένων, η βαθιά μάθηση είναι επίσης ισχυρή έναντι ανεπιθύμητων παραλλαγών, όπως η μεταβλητότητα μεταξύ των αναγνωστών των ιατρικών απεικονίσεων (ακτινολόγων), και ως εκ τούτου μπορεί να εφαρμοστεί σε μια μεγάλη ποικιλία κλινικών συνθηκών και παραμέτρων. Με πολλούς τρόπους, η βαθιά μάθηση αντικατοπτρίζει το έργο των ακτινολόγων, όπως ο προσδιορισμός των παραμέτρων στην απεικόνιση, αλλά και η στάθμιση της σημασίας αυτών των

παραμέτρων βάσει άλλων παραγόντων, ώστε να ληφθεί μια κλινική απόφαση (Hosny et al., 2018; Choy et al., 2018). Κατά αυτό τον τρόπο η μηχανική μάθηση χρησιμοποιείται για την απόκτηση απεικονίσεων, την αυτόματη αναγνώριση ευρημάτων σε όργανα και ιστούς (π.χ. όγκοι, οζίδια), την αυτόματη ερμηνεία ευρημάτων και την υποστήριξη στη λήψη κλινικών αποφάσεων (Choy et al., 2018; Thrall et al., 2018).

Η αυτόματη αναγνώριση ευρημάτων σε ιστούς είναι η εφαρμογή της μηχανικής μάθησης που κερδίζει έδαφος στον τομέα και αναμένεται να είναι από τις πρώτες εφαρμογές που θα εισαχθούν στην κλινική πρακτική της ακτινολογίας. Για παράδειγμα, στην ακτινολογία θώρακα, η μηχανική μάθηση βοηθά στον έλεγχο του καρκίνου του πνεύμονα, μέσα από τον εντοπισμό και την έγκαιρη ανίχνευση των πνευμονικών οζιδίων, την αυτόματη αναγνώριση τους και την κατηγοριοποίησή τους ως καλοήγη ή κακοήγη. Η βαθιά μάθηση έχει επίσης εφαρμογές στην ανίχνευση κρίσιμων ευρημάτων, όπως ο πνευμοθώρακας (συσσώρευση αέρα στην υπεζωκοτική κοιλότητα), τα κατάγματα, οι ρήξεις οργάνων και το εγκεφαλικό επεισόδιο (Zoga & Syed, 2018; Jin et al., 2021). Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται διάφορες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στους διάφορους τομείς της ακτινολογίας.

2.2.2. Ακτινολογία θώρακα

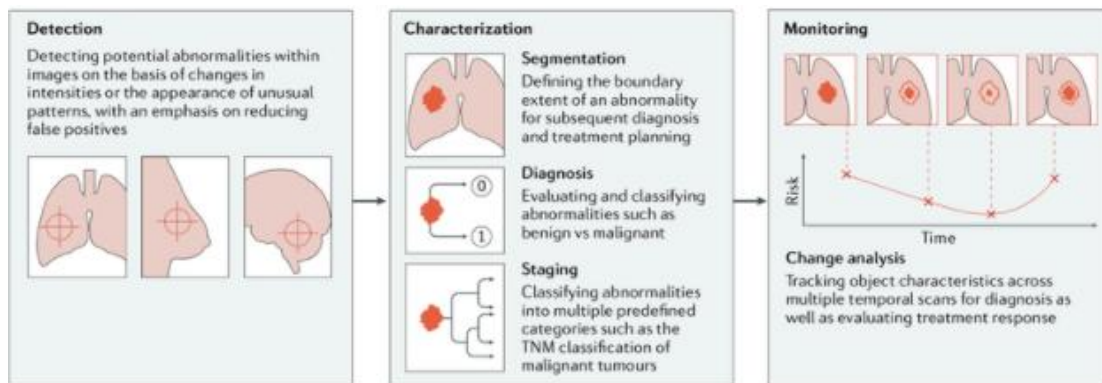
Η ακτινογραφία θώρακα (CXR) είναι από τις κοινές πρακτικές απεικόνισης που χρησιμοποιείται για τη διάγνωση ή τον έλεγχο ενός μεγάλου συνόλου θωρακικών παθήσεων. Καθώς υπάρχουν πολλές προκλήσεις στην ανάγνωση των ακτινογραφιών όπως σε κάποιες περιπτώσεις η χαμηλή ευαισθησία, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης, τα οποία θα μπορέσουν να βοηθήσουν και να βελτιώσουν την ερμηνεία των ακτινολογικών απεικονίσεων (Chassagnon et al., 2020).

Όπως με όλες τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης, μια απαραίτητη, αλλά όχι επαρκής, προϋπόθεση για ένα αποτελεσματικό σύστημα τεχνητής νοημοσύνης στην ανάλυση ακτινογραφιών θώρακα είναι μια εκτεταμένη και επιμελημένη πηγή δεδομένων για την εκπαίδευση των αλγορίθμων βαθιάς μάθησης. Τέτοια δεδομένα έχουν παραδοσιακά συλλεχθεί μέσα από μελέτες, όπως η έρευνα PLCO (Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian Cancer Screening Trial), στην οποία περιλαμβάνονται

περίπου 200.000 CXRs που αφορούν νοσήματα που σχετίζονται με όγκους, οζίδια, μη συγγενείς ανωμαλίες του πνεύμονα και υπεζωκοτικές ανωμαλίες (Cohagan et al., 2000). Ωστόσο στις σύγχρονες εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης περισσότερο χρήσιμα για την εκπαίδευση των αλγορίθμων, είναι δεδομένα που συλλέγονται από συστήματα ηλεκτρονικής αρχειοθέτησης και επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων (PACS). Αυτά τα δεδομένα έχουν αντληθεί σήμερα από τις πηγές τους, έχουν ταξινομηθεί σε μεγάλα σύνολα δεδομένων (όπως CXR14, CheXpert, MIMIC-CXR και PadChest) και έχουν αξιοποιηθεί για την εκπαίδευση αλγορίθμων βαθιάς μάθησης στον τομέα της ακτινολογίας (Jin et al., 2021). Τα Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα, όπως αναφέρθηκαν νωρίτερα που βασίζονται στην επιτηρούμενη μάθηση αξιοποιούνται για την εύρεση της θέσης πιθανών ευρημάτων στις ακτινογραφίες θώρακα (Jin et al., 2021).

Επί του παρόντος αξιολογούνται πολλαπλές χρήσεις των αλγορίθμων βαθιάς μάθησης με τα Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα, για θέματα όπως η αξιολόγηση των οζιδίων των πνευμόνων, η ανίχνευση φυματίωσης ή πνευμονίας ή ο ποσοτικός προσδιορισμός διάχυτων πνευμονικών παθήσεων. Η ακτινογραφία θώρακα είναι ένας από τους τομείς της ακτινολογίας που είναι κατάλληλος για την ανάπτυξη αλγορίθμων βαθιάς μάθησης για την αυτόματη ερμηνεία δεδομένων, λόγω της αυξανόμενης διαθεσιμότητας δεδομένων για την εκπαίδευση αλγορίθμων. Οι τρέχοντες αλγόριθμοι που προτείνονται στη βιβλιογραφία, μπορούν να ανιχνεύσουν έως και 14 κοινές ανωμαλίες (συμπεριλαμβανομένων της ατελεκτασίας των πνευμόνων, της πνευμονίας, της διήθησης, του πνευμοθώρακα, του οιδήματος, του εμφυσήματος, της ίνωσης, της υπεζωκοτικής πάχυνσης, της καρδιομεγαλίας και άλλων), όταν υπάρχουν ως μεμονωμένα ευρήματα, ενώ η μαγνητική τομογραφία θώρακα είναι ένα άλλο σημαντικό πεδίο εφαρμογής για την τεχνητή νοημοσύνη, ειδικά στο πλαίσιο της μεγάλης κλίμακας διαλογής για τον καρκίνο του πνεύμονα (Chassagnon et al., 2020).

Για παράδειγμα στον τομέα της ογκολογίας, μια εφαρμογή που έχει μελετηθεί και παρουσιαστεί σε πολλές μελέτες είναι η διάγνωση των οζιδίων των πνευμόνων στην ακτινογραφία του θώρακα. Οι αλγόριθμοι έχουν αναπτυχθεί για την ανίχνευση, τον χαρακτηρισμό τους (καλοήθεις ή κακοήθειες) και την παρακολούθηση της εξέλιξης τους για πιθανές μεταστάσεις (Εικόνα 4) (Hosney et al., 2018). Ένα άλλο σημαντικό πεδίο έρευνας είναι η αυτοματοποιημένη ανίχνευση της φυματίωσης στις ακτινογραφίες του θώρακα (Jin et al., 2021).



Εικόνα 4. Λειτουργίες αλγορίθμων βαθιάς μάθησης στην ανίχνευση, τον χαρακτηρισμό και την παρακολούθηση της εξέλιξης των οζιδίων των πνευμόνων

Πηγή: Hosney et al., (2018)

2.2.3. Ακτινολογία μαστού

Η ακτινολογία μαστού είναι ένας άλλος σημαντικός τομέας μελέτης, όπου η τεχνητή νοημοσύνη αξιοποιείται για τη διάγνωση του καρκίνου του μαστού. Η μαστογραφία έχει παραδοσιακά χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο του καρκίνου του μαστού με υψηλά επίπεδα αποτελεσματικότητας στην έγκαιρη ανίχνευση και την μείωση της θνησιμότητας. Η τεχνητή νοημοσύνη σε αυτό τον τομέα, μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του φόρτου εργασίας των ακτινολόγων καθώς και στην αποτροπή σφαλμάτων, τα οποία έχει δειχθεί ότι μπορεί να αφήσουν αδιάγνωστες έως και το 25% των γυναικών που υποβάλλονται σε μαστογραφία (Rodríguez-Ruiz et al., 2019).

Τα τελευταία χρόνια, έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι που βασίζονται στη βαθιά μάθηση με τη χρήση Συνελικτικών Νευρωνικών Δικτύων, για την αυτοματοποιημένη ανάλυση μαστογραφιών, τόσο στην ψηφιακή μαστογραφία, όσο και στις ψηφιακές απεικονίσεις από τομοσύνθεση (Sechopoulos et al., 2020).

Πρόσφατα λοιπόν οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης ήρθαν να προσδώσουν αυτά τα πλεονεκτήματα στην διάγνωση του καρκίνου του μαστού. Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης που έχουν αναπτυχθεί για την ανίχνευση καρκίνου του μαστού, έχουν εκπαιδευτεί για την αναζήτηση αλλοιώσεων στους μαλακούς ιστούς, καθώς και για την αναζήτηση επασβεστώσεων (Sechopoulos et al., 2020). Για παράδειγμα, οι Lotter et al. (2017) έχουν αναπτύξει έναν αλγόριθμο δύο σταδίων, στον οποίο περιλαμβάνονται δύο Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα, ένα για την ανίχνευση

αλλοιώσεων στους μαλακούς ιστούς και ένα για την ανίχνευση ασβεστώσεων. Επίσης, παρόμοια με τον καρκίνο του πνεύμονα στις ακτινογραφίες θώρακος, οι αλγόριθμοι προσδιορίζουν τη θέση των ύποπτων ευρημάτων.

Οι έρευνες έχουν δείξει ότι η απόδοση αυτών των νέων συστημάτων είναι σημαντικά βελτιωμένη σε σύγκριση με εκείνη των συστημάτων CAD, ειδικά στη μείωση του αριθμού των ψευδώς θετικών αποτελεσμάτων στον καρκίνο του μαστού (Kim et al., 2020). Παρ' όλα αυτά, υπάρχει ακόμα έλλειψη μελετών που συγκρίνουν την απόδοση τους σε σχέση με την εργασία που γίνεται από έναν ακτινολόγο. Μια πρόσφατη αναδρομική μελέτη από τους Rodriguez – Ruiz et al., (2019), στην οποία συγκρίθηκε η απόδοση ενός συστήματος τεχνητής νοημοσύνης με την απόδοση ενός συνόλου 101 ακτινολόγων στην ανίχνευση καρκίνου του μαστού σε απεικονίσεις ψηφιακής μαστογραφίας, βρήκε παρόμοια απόδοση μεταξύ των δύο και η ακρίβεια της ανίχνευσης του καρκίνου του αξιολογούμενου συστήματος τεχνητής νοημοσύνης ήταν συγκρίσιμη με αυτή του μέσου ακτινολόγου.

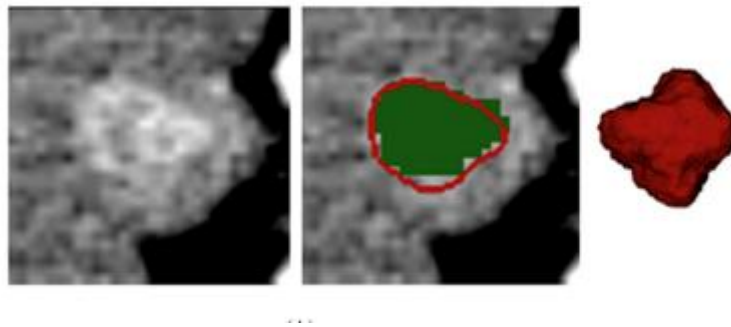
Παρά το γεγονός ότι τα συστήματα αυτά δεν έχουν εισαχθεί ακόμα στην κλινική πρακτική, υπάρχουν εφαρμογές (apps), οι οποίες είναι εμπορικά διαθέσιμες για την ανίχνευση του καρκίνου του μαστού και οι οποίες αξιολογούνται ευρέως ως προς την απόδοσή τους. Για παράδειγμα στην έρευνα των Rodriguez – Ruiz et al., (2019) που αναφέρθηκε νωρίτερα η εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης που αξιολογήθηκε ήταν η Transpara 1.4.0, (Screenpoint Medical BV, Nijmegen, Netherlands). Το σύστημα χρησιμοποιεί αλγόριθμους βαθιάς μάθησης συνελκτικών νευρωνικών δικτύων, ταξινομητές χαρακτηριστικών και αλγόριθμους ανάλυσης εικόνας για την ανίχνευση ασβεστώσεων και βλαβών των μαλακών ιστών σε δύο διαφορετικές ενότητες. Για κάθε εξέταση, με βάση τα ξεχωριστά ταξινομημένα ύποπτα ευρήματα, το σύστημα εξάγει μια βαθμολογία που κυμαίνεται μεταξύ του 1 και του 10, και η οποία αντιπροσωπεύει το επίπεδο υποψίας για καρκίνο. Αυτό το σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί σε επεξεργασμένες εικόνες ψηφιακής επεξεργασίας. Το σύστημα έχει εκπαιδευτεί, επικυρωθεί και δοκιμαστεί χρησιμοποιώντας μια βάση δεδομένων που περιέχει περισσότερες από 9.000 μαστογραφίες με καρκίνο (το ένα τρίτο εκ των οποίων παρουσιάζεται ως βλάβες με ασβεστώσεις) και 180.000 μαστογραφίες χωρίς ανωμαλίες. Οι μαστογραφίες προέρχονται από συσκευές από τέσσερις διαφορετικούς προμηθευτές (Hologic; Siemens; General Electric, Waukesha, WI, Philips, Eindhoven, Netherlands) και ιδρύματα σε όλη την Ευρώπη, τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ασία (Rodriguez – Ruiz et al., 2019; Sechopoulos & Mann, 2020).

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι πρόσφατα δημοσιεύθηκε μια μελέτη από τους Lotter et al., (2021) στην οποία παρουσιάζεται μια προσέγγιση βαθιάς μάθησης για εφαρμογή στην ψηφιακή τομοσύνθεση μαστού, η οποία συμβάλλει στην ανίχνευση του καρκίνου, σε ασθενείς με καρκίνο με προηγουμένως αρνητική διάγνωση όπως αξιολογήθηκε από ακτινολόγους. Βάσει των αποτελεσμάτων της έρευνας υποδεικνύεται ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα μπορούσε να συνεισφέρει στην πιο έγκαιρη διάγνωση του καρκίνου, σε σχέση με τη διαγνωστική αξιολόγηση που παρέχεται από έναν ακτινολόγο.

2.2.4. Ακτινολογία πεπτικού συστήματος

Κατά παρόμοιο τρόπο με τους ανωτέρω τύπους καρκίνου, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης έχουν διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη διάγνωση καρκίνων του πεπτικού συστήματος, όπως το αδενοκαρκίνωμα του παγκρέατος, το ηπατοκυτταρικό καρκίνωμα, τα αδενοκαρκίνωμα του παχέους εντέρου, κ.λπ. Η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων είναι πολύ σημαντική επειδή σε σύγκριση με άλλα ζωτικά όργανα (π.χ. η καρδιά, το ήπαρ και τα νεφρά), το πάγκρεας έχει πολύ μεταβλητό σχήμα, μέγεθος και θέση στην κοιλιά. Παρόμοια, οι όγκοι του παγκρέατος είναι ακόμη πιο δύσκολο να εντοπιστούν, επειδή είναι αρκετά μεταβλητοί στο σχήμα, το μέγεθος, τη θέση τους και έχουν πολύπλοκα μοτίβα, σε διαφορετικές απεικονίσεις τους στην μαγνητική τομογραφία. Επιπλέον, η ετερογένεια των περιοχών του παγκρέατος (δηλαδή, του ιστού του παγκρέατος, του αγωγού, των φλεβών και των αρτηριών) και το κακώς καθορισμένο όριο του όγκου του οργάνου, καθιστούν την κατάτμηση του όγκου του παγκρέατος πολύ δύσκολη ακόμη και για τους ακτινολόγους. Οι πρόσφατες εξελίξεις στη μηχανική μάθηση οδήγησαν σε σημαντικές βελτιώσεις στην αυτοματοποιημένη ανάλυση του καρκίνου του παγκρέατος και μπορούν να υποστηρίξουν την πρόβλεψη και την πρόγνωση ανάπτυξης όγκων, καθώς και την επιβίωση των ασθενών. Σε αυτήν την ενότητα, θα καλύψουμε τα αντιπροσωπευτικά έργα του παγκρέατος και της τμηματοποίησης / ανίχνευσης όγκου του παγκρέατος, καθώς και την πρόβλεψη και την πρόγνωση του καρκίνου του παγκρέατος (Jin et al., 2021).

Οι Zhu et al., (2019) για παράδειγμα, παρουσιάζουν έναν αλγόριθμο τεχνητής νοημοσύνης μέσω του οποίου μπορεί να επιτευχθεί έλεγχος / ανίχνευση του καρκίνου του παγκρέατος. Οι ερευνητές αναφέρουν ευαισθησία 94,1% και ειδικότητα 98,5% για την διαλογή των ασθενών (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Ανίχνευση όγκου καρκίνου του παγκρέατος με αλγόριθμο τεχνητής νοημοσύνης

Πηγή: Zhu et al., (2019)

Εκτός από τους διάφορους τύπους καρκίνων, η τεχνητή νοημοσύνη μελετάται ως προς την εφαρμογή της, στην αναγνώριση άλλων καταστάσεων του πεπτικού συστήματος, όπως η κολίτιδα (μια χρόνια πεπτική νόσος που χαρακτηρίζεται από φλεγμονή της εσωτερικής επένδυσης του παχέους εντέρου), η φλεγμονώδης νόσος του εντέρου και η νόσος του Crohn (φλεγμονώδεις νόσοι του πεπτικού σωλήνα) (Li & Qian, 2020).

2.2.5. Ακτινολογία μυοσκελετικού συστήματος

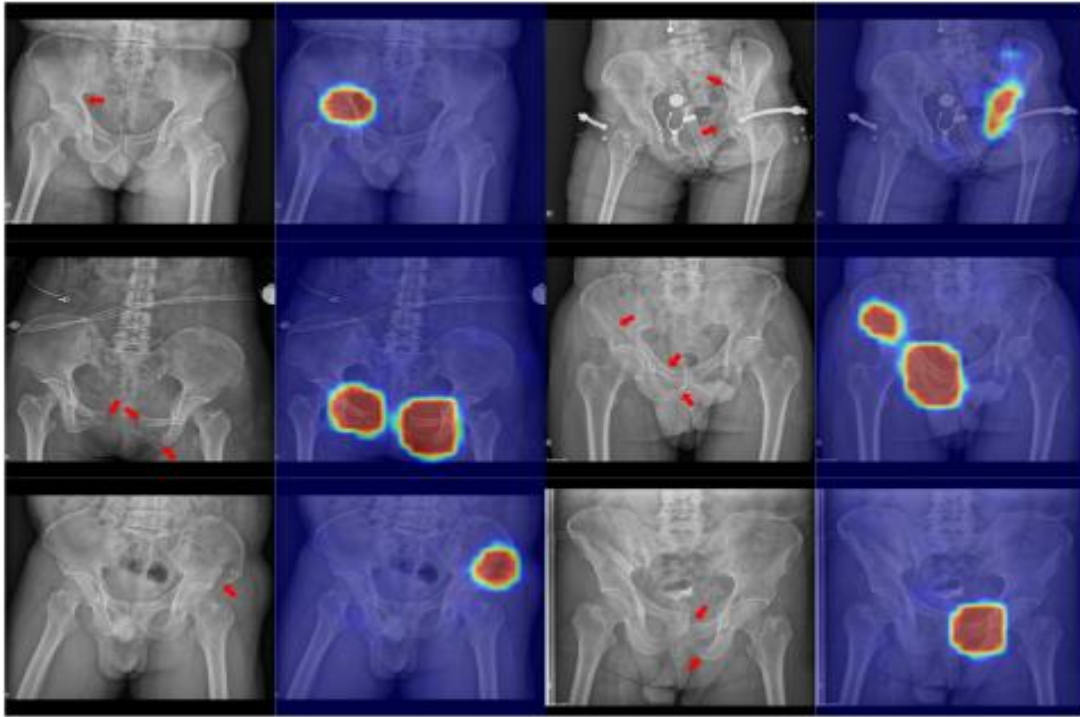
Η μυοσκελετική ακτινολογία αναμένεται επίσης να επωφεληθεί σημαντικά στο μέλλον από την τεχνητή νοημοσύνη και την μηχανική μάθηση και οι ερευνητές μελετούν πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως η ανίχνευση καταγμάτων, η ευθραυστότητα των οστών που προδιαθέτει σε κατάγματα, η ανίχνευση πολυεπίπεδων εκφυλιστικών νόσων της σπονδυλικής στήλης και η ανίχνευση μεταστατικών αλλοιώσεων των οστών (Gorelik & Gyftopoulos, 2021).

Ενώ η ανίχνευση κατάγματος των οστών δεν είναι η μόνη εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης, είναι μια από τις πιο σημαντικές και πολλά υποσχόμενες, αφού για παράδειγμα τα κατάγματα ισχίου και της πυέλου είναι από τους πιο συχνούς τύπους καταγμάτων παγκοσμίως. Δεδομένου του χαμηλού κόστους, της υψηλής απόδοσης και της ευρείας διαθεσιμότητας, η απεικόνιση με ακτίνες X είναι το τυπικό εργαλείο απεικόνισης για τη διάγνωση πυελικών καταγμάτων και καταγμάτων ισχίου (Jin et al., 2021). Ωστόσο, οι ανατομικές πολυπλοκότητες και οι στρεβλώσεις στις προβολές των εικόνων, συμβάλλουν σε υψηλό ποσοστό διαγνωστικών σφαλμάτων,

καθυστερώντας τη θεραπεία και αυξάνοντας το κόστος της φροντίδας, τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα (Chellman, 2016). Οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης έχουν σημαντικές προοπτικές στον τομέα αυτό και μπορούν να υποστηρίξουν επίσης τη λήψη κλινικών αποφάσεων σε επείγοντα πλαίσια φροντίδας, για ακτινολόγους που εργάζονται σε τμήματα έκτακτης ανάγκης. Οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα αυτό θα μπορούσαν να βοηθήσουν στην αυτόματη ανίχνευση καταγμάτων (Jin et al., 2021).

Σε μια πρόσφατη μελέτη από τους Wang et al., (2019), παρουσιάζεται ένας αλγόριθμος βαθιάς μάθησης σε ένα σύστημα για την ανίχνευση καταγμάτων στο ισχίο και την πύελο και η απόδοση του συστήματος συγκρίνεται με αυτή ενός συνόλου 23 ιατρών (ακτινολόγων, ορθοπεδικών, χειρουργών και γενικών ιατρών). Η αξιοπιστία στην ανίχνευση καταγμάτων βρέθηκε υψηλότερο για το σύστημα τεχνητής νοημοσύνης έναντι των ιατρών (0,882 ιατροί έναντι 0,907 σύστημα τεχνητής νοημοσύνης), αν και η αξιοπιστία των εξειδικευμένων ορθοπεδικών ιατρών μεμονωμένα και των ακτινολόγων μεμονωμένα, από αυτή του συστήματος ήταν μεγαλύτερη (0,932 για τους ορθοπεδικούς και 0,930 για τους ακτινολόγους). Σε ότι αφορά την ευαισθησία στη διαγνωστική δοκιμή η απόδοση των δύο μερών ήταν παρόμοια (0,962 ιατροί και 0,960 σύστημα τεχνητής νοημοσύνης για τα κατάγματα ισχίου και 0,842 ιατροί και 0,840 σύστημα τεχνητής νοημοσύνης για τα κατάγματα της πυέλου). Σε ότι αφορά την ειδικότητα η απόδοση του συστήματος τεχνητής νοημοσύνης ήταν ανώτερη από το σύνολο των ιατρών, τόσο για τα κατάγματα ισχίου (0,938 ιατροί έναντι 0,980 σύστημα τεχνητής νοημοσύνης), όσο και για τα πυελικά κατάγματα (0,953 ιατροί έναντι 0,960 σύστημα τεχνητής νοημοσύνης), αν και πάλι οι μεμονωμένες επιδόσεις των ορθοπεδικών και των ακτινολόγων ήταν παρόμοιες με αυτές του συστήματος τεχνητής νοημοσύνης. Ενώ η τεχνητή νοημοσύνη φαίνεται να έχει παρόμοια απόδοση με τους ακτινολόγους και τους εξειδικευμένους ορθοπεδικούς, εν τούτοις συνέβαλλε στην ανίχνευση καταγμάτων (Εικόνα 6), που διαφορετικά θα είχαν μείνει αδιάγνωστα.

Παρ' όλα αυτά ένας σημαντικός περιορισμός των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στην ανίχνευση καταγμάτων, είναι ότι τα συστήματα αυτά πρέπει να εκπαιδευτούν για ξεχωριστά μέρη του σώματος, σε αντίθεση με τους ακτινολόγους, οι οποίοι είναι σε θέση να μεταφράσουν τις γνώσεις τους για τα κατάγματα σε οποιαδήποτε θέση και οστό (Gorelik & Gyftopoulos, 2021).



Εικόνα 6. Παραδείγματα καταγμάτων της πυέλου που μπορεί να μείνουν αδιάγνωστα

Πηγή: Wang et al., (2019)

2.2.6. Εφαρμογές σε άλλους τομείς της ακτινολογίας

Στην βιβλιογραφία μπορεί να εντοπιστεί ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών και συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης και βαθιάς μάθησης που δοκιμάζονται στον τομέα της ακτινολογίας. Η επεμβατική ακτινολογία είναι ένας από αυτούς τους τομείς και εδώ οι εφαρμογές επικεντρώνονται στην υποστήριξη που μπορούν να παρέχουν τα συστήματα αυτά στην εκτίμηση και πρόβλεψη των αποτελεσμάτων ή / και των πλεονεκτημάτων μιας θεραπείας πριν παρασχεθεί στον ασθενή. Η πρόβλεψη του ποσοστού επιτυχίας μιας θεραπείας σε έναν συγκεκριμένο ασθενή θα μπορούσε να συμβάλλει στη μείωση των περιττών διαδικασιών, μειώνοντας έτσι το κόστος της υγειονομικής περίθαλψης και τους κινδύνους για τον ασθενή. Οι διαδικασίες θα είναι επίσης χρήσιμες για τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο τα δημογραφικά και τα παθολογικά χαρακτηριστικά ενός ασθενούς πριν από τη θεραπεία, μπορούν να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα της θεραπείας (Letzen et al., 2019).

Οι διαγνωστικές απεικονίσεις ενός ασθενούς, τα κλινικά δεδομένα και τα χαρακτηριστικά του, καθώς και τα αποτελέσματα της προγραμματισμένης παρέμβασης μπορούν να εφαρμοστούν αναδρομικά σε μια ομάδα ασθενών για να

διδάξουν στον υπολογιστή να κατασκευάσει και να εργαστεί σε ένα μοντέλο που μπορεί να «μάθει» τη σχέση μεταξύ αυτών των μοντέλων μεταβλητών και των διαδικαστικών αποτελεσμάτων. Το προκύπτον μοντέλο επιτρέπει έτσι την πρόβλεψη της έκβασης σε μελλοντικούς νέους ασθενείς, ακόμη και πριν από την εκτέλεση της διαδικασίας, με την προϋπόθεση ότι έχουν καθοριστεί τα χαρακτηριστικά της παρέμβασης. Τα μοντέλα πρόβλεψης που βασίζονται στην μηχανική μάθηση μπορούν να βοηθήσουν τους ακτινολόγους στην επεμβατική ακτινολογία στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη διαδικασία που θα προσφέρει το καλύτερο αποτέλεσμα για κάθε ασθενή. Προφανώς, αυτά τα μοντέλα πρόβλεψης θα απαιτούσαν συνεχή αξιολόγηση και επικύρωση για τον περιορισμό ή ακόμη και την εξάλειψη πιθανών σφαλμάτων και τη βελτίωση της απόδοσης, τόσο από την άποψη των διαγνωστικών, όσο και των θεραπευτικών αποτελεσμάτων (Lezzi et al., 2019).

Ωστόσο οι σχετικές μελέτες βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο. Ένα παράδειγμα είναι η έρευνα των Abajan et al. (2018), στην οποία αξιολογείται η ικανότητα της τεχνητής νοημοσύνης να προβλέψει τα αποτελέσματα της θεραπείας της αρτηριακής χημειοεμβολής, σε ασθενείς με ηπατοκυτταρικό καρκίνωμα, με βάση απεικονίσεις μαγνητικού συντονισμού, ταξινομώντας τους ασθενείς σε δύο ομάδες, δηλαδή σε αυτούς που είναι πιθανό να ανταποκριθούν και σε αυτούς που δεν είναι πιθανό να ανταποκριθούν στη θεραπεία. Η ακρίβεια εκτιμήθηκε σε 78% (με ευαισθησία 62,5%, ειδικότητα 82,1%, θετική προγνωστική τιμή 50,0%, αρνητική προγνωστική τιμή 88,5%).

Ένας άλλος τομέας στον οποίο έχουν αναπτυχθεί πολλές εφαρμογές είναι αυτός της νευροακτινολογίας. Στον τομέα αυτό έχει δοθεί έμφαση στον εντοπισμό ευρημάτων που απαιτούν επείγουσες παρεμβάσεις, όπως η ενδοκρανιακή αιμορραγία, το οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου, η απόφραξη των μεγάλων αγγείων, η ανίχνευση ανευρυσμάτων στην καρδιά και οι τραυματικές εγκεφαλικές βλάβες. Άλλες εφαρμογές σε μη επείγον πλαίσιο έχουν επικεντρωθεί στην εκτίμηση του όγκου των ανατομικών δομών για τη νόσο του Alzheimer, το μέγεθος της κοιλίας για την υδροκεφαλία, την εκτίμηση του όγκου των βλαβών σε διαταραχές, όπως η σκλήρυνση κατά πλάκας, την εκτίμηση του όγκου των ενδοκρανιακών νεοπλασμάτων και την ταυτοποίηση μεταστατικών εγκεφαλικών βλαβών (Lui et al., 2020).

Οι Hung et al., (2020) κάνουν επίσης μια συστηματική ανασκόπηση των εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης στην οδοντιατρική και γναθοπροσωπική ακτινολογία.

Εντοπίζουν συνολικά 50 μελέτες που αναφέρουν εφαρμογές διαφόρων μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης για την ανάλυση 2D / 3D απεικονίσεων (οπισθοφαρνιακή ακτινογραφία, πανοραμική ακτινογραφία, ενδοστοματική ακτινογραφία και κεφαλομετρική ακτινογραφία). Οι εφαρμογές είναι σε πολλαπλούς τομείς, όπως η μέτρηση των κεφαλομετρικών ορόσημων, η διάγνωση της οστεοπόρωσης, η ταξινόμηση/τμηματοποίηση των γναθοπροσωπικών κύστεων και όγκων, η ταξινόμηση των περιοπτικών βλαβών, η διάγνωση πολλαπλών οδοντικών παθήσεων και η ταξινόμηση των τύπων δοντιών.

Εκτός από τις όλες τις προηγούμενες εφαρμογές, η τεχνητή νοημοσύνη εφαρμόζεται και σε άλλα τεχνικά ζητήματα στον τομέα της ακτινολογίας. Ο έξυπνος προγραμματισμός διευκολύνεται από τις τεχνικές μηχανικής μάθησης και μπορεί να βελτιστοποιήσει τον προγραμματισμό των ασθενών, μειώνοντας την πιθανότητα έλλειψης φροντίδας ως αποτέλεσμα της μη συμμετοχής στα ιατρικά ακτινολογικά ραντεβού. Για παράδειγμα στο Γενικό Νοσοκομείο της Μασαχουσέτης χρησιμοποιείται η μηχανική εκμάθηση και προγνωστικά αναλυτικά στοιχεία για την ταυτοποίηση ασθενών που διατρέχουν υψηλό κίνδυνο έλλειψης φροντίδας και δεν παρακολουθούν τα ραντεβού τους. Επιπλέον έχουν προταθεί εφαρμογές μηχανικής μάθησης για τον έλεγχο της ασφάλειας των ασθενών ή για την ενίσχυση των αναφορών ασφαλείας, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να εφαρμοστούν στην πρακτική της ακτινολογίας (π.χ. έλεγχος ασφάλειας MRI ή χορήγηση υλικού αντίθεσης) (Choy et al., 2018).

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση της ποιότητας των εικόνων στις διαγνωστικές απεικονίσεις. Ενώ οι εξειδικευμένοι και έμπειροι ακτινολόγοι, αποτελούν πρότυπο αναφοράς για την αξιολόγηση της ποιότητας των ιατρικών απεικονίσεων, η αξιολόγηση ενός μεγάλου αριθμού εικόνων απαιτεί μεγάλο χρόνο. Για τον σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί «παρατηρητές μηχανικής μάθησης» για την αξιολόγηση της ποιότητας των εικόνων. Ένας τέτοιος «έξυπνος παρατηρητής» μπορεί για παράδειγμα να εφαρμοστεί στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων και την αξιολόγηση της ποιότητας εικόνας στην υπολογιστική τομογραφία, καθώς και για τη μείωση του θορύβου των εικόνων (Choy et al., 2018).

2.3. Οφέλη της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση

Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης αναμένεται ότι θα έχουν αρκετά οφέλη στην ιατρική απεικόνιση στο μέλλον. Αν και υπάρχουν λίγα εμπειρικά στοιχεία, οι ακτινολόγοι, οι διαχειριστές των νοσοκομείων και προγραμματιστές τεχνολογίας υπολογιστών αναμένουν μεγάλη προστιθέμενη αξία από την ανάπτυξη εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης στην κλινική πρακτική. Δύο βασικές κατηγορίες οφελών είναι η βελτιωμένη διαγνωστική πρακτική λόγω των ακριβέστερων και περισσότερο αντικειμενικών διαγνώσεων, της αποφυγής σφαλμάτων και της αυτοματοποίησης απαιτητικών εργασιών για τους ακτινολόγους και τα λειτουργικά οφέλη, όπως η μείωση του φόρτου εργασίας, η εξοικονόμηση χρόνου, οι συνεπείς αναφορές των ακτινολόγων και η προηγμένη διαθεσιμότητα υπηρεσιών (Strohm et al., 2020).

Ως προς την πρώτη κατηγορία οφελών, όπως τονίζουν οι Hosny et al., (2018) ο πρωταρχικός παράγοντας πίσω από την εμφάνιση της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση ήταν η επιθυμία για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα στην κλινική φροντίδα. Τόσο η αποτελεσματικότητα και η αποδοτικότητα, αλλά και η μείωση των σφαλμάτων αποτελούν βασικά συστατικά της ποιότητας της φροντίδας, στην οποία δίνεται όλο και μεγαλύτερη σημασία τις τελευταίες δεκαετίες. Οι έρευνες που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα υποδηλώνουν ότι σε κάποιες περιπτώσεις η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των σφαλμάτων, στην διάγνωση καταστάσεων νωρίτερα από ότι θα γινόταν χωρίς την εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, στη διάγνωση καταστάσεων σε «δύσκολες» περιοχές, κ.α. Αυτά τα αποτελέσματα αναμφίβολα μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας της φροντίδας, μέσα από την έγκαιρη διάγνωση και την εφαρμογή παρεμβάσεων θεραπείας σε συγκεκριμένες ομάδες ασθενών. Καθώς η μηχανική μάθηση καθιστά τα συστήματα απεικόνισης πιο έξυπνα, αυτό μειώνει το χρόνο απεικόνισης, μειώνει τις περιττές απεικονίσεις και βοηθά στη βελτίωση του χαρακτηρισμού των ευρημάτων (π.χ. στον καρκίνο) (Choy et al., 2018). Επιπρόσθετα, η πίεση που ασκείται στους προϋπολογισμούς της υγειονομικής περίθαλψης στις περισσότερες χώρες του κόσμου, ενθαρρύνει τις μονάδες υγείας και τα ακτινολογικά τμήματα να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν καινοτόμες τεχνολογίες που υπόσχονται αποτελεσματικότητα και / ή ποιοτικά οφέλη. Αυτές οι συνθήκες δημιουργούν ένα ευνοϊκό πολιτικό πλαίσιο για την ανάπτυξη εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης (Hosny et al., 2018).

Παρά τα αναφερόμενη οφέλη, αυτά περιορίζονται σε συγκεκριμένες ομάδες ασθενών και καταστάσεις υγείας. Σύμφωνα με τους Strohm et al., (2020) υπάρχει έλλειψη εμπειρικών στοιχείων σχετικά με την επίδραση των εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης στην ροή εργασίας των ακτινολόγων, καθώς και σχετικά με την προστιθέμενη αξία της στην κλινική πρακτική της ακτινολογίας. Ένα σημαντικό ζήτημα πίσω από αυτές τις ελλείψεις επιστημονικών στοιχείων, είναι ότι η μέτρηση των κλινικών και οργανωτικών οφελών της τεχνητής νοημοσύνης σε μικρο-επίπεδο είναι δύσκολη. Για παράδειγμα, δεν έχει αναπτυχθεί κάποια τυπική μεθοδολογία για την αξιολόγηση της βελτίωσης της ποιότητας της διάγνωσης από την αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης, ενώ όπου υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για την τεχνική απόδοση των συστημάτων, οι δημοσιεύσεις σχετικά με την επικύρωση των αλγορίθμων βασίζονται σε εργαστηριακές και όχι σε κλινικές ρυθμίσεις.

Ακόμα ένα όφελος της τεχνητής νοημοσύνης που σχετίζεται με την ποιότητα της φροντίδας, είναι ότι χάρη στις εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης που αναπτύχθηκαν για απλές εργασίες, θα είναι ευκολότερη η παροχή βασικής ιατρικής περίθαλψης και διαγνωστικών υπηρεσιών σε ασθενείς που ζουν σε μέρη που στερούνται ιατρών ή ακτινολόγων, όπως σε απομακρυσμένες περιοχές και σε αναπτυσσόμενες χώρες. Ένα καλό παράδειγμα μιας υπάρχουσας σχετικής εφαρμογής, η οποία χρησιμοποιείται κλινικά σήμερα είναι το λογισμικό CAD4TB (Computer Aided Detection for Tuberculosis), το οποίο χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της φυματίωσης σε ακτινογραφίες θώρακα, σε περιοχές με έλλειψη ειδικευμένων ακτινολόγων, συνήθως στις λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες, όπως η Γκάνα. Οι ύποπτοι ασθενείς για φυματίωση, εξετάζονται για συμπτώματα και με ακτινογραφία θώρακα, και όσοι έχουν συμπτώματα ή / και ανωμαλίες στην ακτινογραφία θώρακα υποβάλλονται σε περαιτέρω έλεγχο (Ranschaert et al., 2020). Μια μεγάλη αναδρομική μελέτη αξιολόγησης του εν λόγω λογισμικού από τους Melendez et al., (2018), σε μια βάση δεδομένων 38.961 CXR με 87 περιπτώσεις ασθενών με φυματίωση, έδειξε ότι το λογισμικό είχε αρνητική προγνωστική τιμή 99,98% με μια περιοχή κάτω από την καμπύλη (AUC) 0,90. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό ενός μεγάλου ποσοστού φυσιολογικών CXRs σε υψηλή ευαισθησία, και ως εκ τούτου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα ως οικονομικά αποδοτικό όργανο διαγνωστικών δοκιμών για τον ακτινογραφικό έλεγχο της φυματίωσης.

Ως προς τα λειτουργικά οφέλη, η εισαγωγή εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης για σκοπούς όπως η ανάληψη απλών ή κουραστικών ακτινολογικών εργασιών, η μείωση του φόρτου εργασίας των ακτινολόγων, η διευκόλυνση της ανάλυσης των εξετάσεων έκτακτης ανάγκης και η βελτιστοποίηση του προγραμματισμού των ασθενών είναι ίσως ο καλύτερος τρόπος για την ομαλή εισαγωγή τεχνολογίας που βασίζεται στην τεχνητή νοημοσύνη στην πρακτική της ακτινολογίας (Ranschaert et al., 2020).

Σύμφωνα με τους Hosny et al., (2018), τα δεδομένα στην ακτινολογικής απεικόνισης συνεχίζουν να αυξάνονται με δυσανάλογο ρυθμό σε σύγκριση με τον αριθμό των διαθέσιμων εκπαιδευμένων ακτινολόγων, συμβάλλοντας στη δραματική αύξηση του φόρτου εργασίας των ακτινολόγων. Μια μελέτη αναφέρει ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, ένας μέσος ακτινολόγος πρέπει να ερμηνεύει μία εικόνα κάθε 3–4 δευτερόλεπτα στην διάρκεια της 8-ώρης εργασίας τους κάθε μέρα, ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του φόρτου εργασίας. Εδώ η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του φόρτου εργασίας (McDonald et al., 2015).

Σε ότι αφορά τη ροή των εργασιών του ακτινολόγου, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να διευκολύνει την διαχείριση της λίστας εργασιών τους. Για παράδειγμα, έχουν αναπτυχθεί ταξινομητές για τον εντοπισμό μη φυσιολογικών θωρακικών ακτινογραφιών με σκοπό την επιτάχυνση της ερμηνείας μιας μη φυσιολογικής εξέτασης. Αυτά τα εργαλεία θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στα συστήματα αρχειοθέτησης εικόνων και επικοινωνίας (PACS) για την ανάπτυξη μιας «λίστας έξυπνων εργασιών» που προειδοποιεί τον ακτινολόγο, για να ερμηνεύσει πρώτα τις μη φυσιολογικές εξετάσεις, μειώνοντας έτσι τον χρόνο στη διάγνωση και τη θεραπεία. Παρόμοιες τεχνικές θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την επισήμανση ακτινογραφιών χωρίς τα κατάλληλα χαρακτηριστικά (π.χ. υποβαθμισμένη κίνηση). Με τον εντοπισμό αυτών των ζητημάτων τη στιγμή της σάρωσης, ο ακτινολόγος θα μπορούσε να επαναλάβει την εξέταση άμεσα, ελαχιστοποιώντας έτσι την επιστροφή των ασθενών και τις καθυστερήσεις στη φροντίδα των ασθενών (Zoga & Syed, 2018).

2.4. Ανησυχίες για την υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση

Αν και η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης έχει οφέλη για την ακτινολογία, η υιοθέτηση και χρήση της έχει εγείρει κάποιες ανησυχίες, κυρίως όσο αφορά ηθικά

ζητήματα (Brady & Neri, 2020). Αυτά τα ζητήματα σύμφωνα με τους Recht et al., (2020), εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες είναι τα ζητήματα δικαιοσύνης, λογοδοσίας και διαφάνειας.

Η προστασία των προσωπικών δεδομένων είναι ένα ζήτημα που απασχολεί όλο και περισσότερο τις κυβερνήσεις και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους νομοθέτες, καθώς και την ερευνητική κοινότητα, λόγω της αυξημένης επιρροής της τεχνολογίας στη ζωή των ανθρώπων. Η τεχνητή νοημοσύνη δεν αποτελεί εξαίρεση από αυτή τη γενική διαπίστωση και η χρήση της στον τομέα της ακτινολογίας, αλλά και της ιατρικής, θέτει ζητήματα προστασίας των προσωπικών δεδομένων των ασθενών και προστασίας του απορρήτου. Καθώς η εκπαίδευση αλγορίθμων στην τεχνητή νοημοσύνη απαιτεί πρόσβαση σε μεγάλα σύνολα δεδομένων από ιδανικά διαφορετικούς πληθυσμούς, έχουν εκφραστεί ανησυχίες σχετικά με την ουσιαστική συγκατάθεση και την αποτελεσματική ανωνυμία. Επίσης, στο ίδιο πλαίσιο φαίνεται να παραλείπονται τα δικαιώματα και τα συμφέροντα εκείνων, οι οποίοι εξαιρούνται από τα σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, όπως είναι κυρίως οι ευάλωτοι πληθυσμοί (Recht et al., 2020).

Μια άλλη ανησυχία που σχετίζεται με τις ανισότητες είναι το πιθανώς διαφορετικό επίπεδο χρήσης της τεχνολογίας στις αναπτυσσόμενες και τις ανεπτυγμένες χώρες. Ενώ οι ανεπτυγμένες περιοχές του κόσμου που δεν αντιμετωπίζουν σημαντικούς περιορισμούς σε πόρους θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης συμπληρωματικά στην ανθρώπινη λήψη αποφάσεων στην ακτινολογία και την ιατρική, σε φτωχότερες περιοχές του κόσμου, η τεχνητή νοημοσύνη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει την ανθρώπινη εμπειρογνομοσύνη. Για την προστασία από αυτές τις αρνητικές επιπτώσεις, είναι απαραίτητο, οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται να είναι αρκετά διαφανείς και κατανοητοί για τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης, ώστε να είναι σε θέση να παρακολουθούν τις επιπτώσεις της χρήσης της τεχνολογίας, καθώς και να παρέχουν λογικές εξηγήσεις στους ασθενείς και σε άλλα σχετικά μέρη (Recht et al., 2020).

Μια ακόμα ανησυχία απορρέει από την πιθανή επίδραση που θα έχει η τεχνητή νοημοσύνη στην λήψη αποφάσεων, καθώς σύμφωνα με τους Osoba & Welser (2017) μπορεί να υπάρξει μεροληψία σε αυτές τις διαδικασίες, επειδή τα σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των αλγορίθμων, είναι πιθανό να υπερ-εκπροσωπούν ή αντίθετα να υπο-εκπροσωπούν ορισμένα χαρακτηριστικά των

ασθενών. Παράλληλα, οι ερευνητές κάνουν λόγο και για τον κίνδυνο «μεροληψίας αυτοματισμού», ο οποίος απορρέει από το γεγονός ότι οι ακτινολόγοι ή οι άλλοι επαγγελματίες υγείας πιθανώς θα βασίζονται εξ ολοκλήρου στο έργο μιας μηχανής, αντί να εφαρμόζουν τη δική τους κριτική κρίση και έλεγχο, το οποίο μπορεί να βλάψει την ποιότητα της φροντίδας (Brady & Neri, 2020).

Πέραν από τα ηθικά ζητήματα, η υιοθέτηση των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στην καθημερινή κλινική πρακτική, απαιτεί την επίλυση ενός συνόλου τεχνικών θεμάτων που ακόμα δεν έχουν αντιμετωπιστεί επαρκώς. Ενώ μέχρι σήμερα, έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης, πολύ λίγοι από αυτούς έχουν επικυρωθεί επαρκώς, ώστε να μπορούν να είναι χρήσιμοι την καθημερινή κλινική πρακτική. Η επικύρωση ενός αλγορίθμου συμβάλλει στην ακρίβεια του και στην χρησιμότητα στην κλινική πρακτική. Η εφαρμογή ορθών στρατηγικών επικύρωσης όχι μόνο θα παρέχουν πληροφορίες για την πιθανή κλινική αξία ενός αλγορίθμου, αλλά και μπορούν να κατευθύνουν την ανάπτυξή του προς ένα κλινικά πιο χρήσιμο εργαλείο (Mahajan et al., 2020).

Το ζήτημα της επικύρωσης είναι ακόμα σχετικό και με την απόδοσή τους και συνεπώς και με την ικανότητα τους να παράγουν ορθά και ακριβή αποτελέσματα για τους ασθενείς. Σύμφωνα με τους Strohm et al., (2020) οι οποίοι έκαναν μια μελέτη σε ακτινολόγους που είχαν τεχνικές γνώσεις και εμπειρία πάνω στην χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση, διαπιστώθηκαν πως θεώρησαν ότι η τεχνική απόδοση των περισσότερων εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης είναι ασυνεπής. Τεχνικά, αυτό αναφέρεται στην απόδοση των αλγορίθμων, δηλαδή στην ευαισθησία της διαγνωστικής εξέτασης (ποσοστό ψευδώς θετικών αποτελεσμάτων) και στην ειδικότητά της (ποσοστό ψευδών αρνητικών αποτελεσμάτων). Σε κλινικούς όρους, ένα μεγάλο ποσοστό ψευδώς θετικών αποτελεσμάτων δημιουργεί πρόσθετη εργασία για τους ακτινολόγους, ενώ από την άλλη ένα μεγάλο ποσοστό ψευδώς αρνητικών αποτελεσμάτων, ενέχει κίνδυνο για τους ασθενείς, αφού μια πιθανή κατάσταση μπορεί να παραμείνει αδιάγνωστη ή να παραβλεφθεί.

Τέλος, αν και υπάρχει μια γενικότερη ανησυχία ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα αντικαταστήσει μεγάλο μέρος της εργασίας των ακτινολόγων ή ακόμα και τους ίδιους τους ακτινολόγους, κάτι τέτοιο δεν υποστηρίζεται από τις μέχρι σήμερα εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στον κλάδο αυτό (Marcu & Marcu, 2021). Σύμφωνα με τους Ranschaert et al., (2019) οι πιο επιτυχημένοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης που έχουν αναπτυχθεί στον τομέα της ακτινολογίας, βασίζονται στην αρχή της

αναγνώρισης εικόνας. Αν και αυτή η ιδιότητα των εφαρμογών της τεχνητής νοημοσύνης είναι πολύ σημαντική στη διάγνωση, αποτελεί ένα μόνο από τα καθήκοντα της εργασίας των ακτινολόγων και έτσι τα λογισμικά που έχουν αναπτυχθεί σήμερα, δεν αναλαμβάνουν άλλες εργασίες πέρα από την αναγνώριση εικόνας. Ενώ η ερμηνεία των «εικόνων» έχει κεντρικό ρόλο στη ροή εργασίας των ακτινολόγων, το έργο τους, υπερβαίνει την ερμηνεία των εικόνων. Οι ακτινολόγοι κάνουν επίσης διαβουλεύσεις με άλλους γιατρούς σχετικά με τη διάγνωση και τη θεραπεία, εκτελούν ελάχιστα επεμβατικές διαδικασίες, επιλέγουν τις καταλληλότερες μεθόδους απεικόνισης για τους ασθενείς τους, ενημερώνουν τα ηλεκτρονικά αρχεία υγείας, συζητούν τα ευρήματα των απεικονιστικών εξετάσεων με τους παραπέμποντες ιατρούς και τους ασθενείς και διεξάγουν ποιοτικούς ελέγχους. Αυτές οι εργασίες απαιτούν ανώτερη κλινική ή διαχειριστική εξειδίκευση, βασικές πληροφορίες και διαφορετικές μορφές νοημοσύνης, οι οποίες δεν παρέχονται στο σύνολό τους μέσα από τις υπάρχουσες εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης και βραχυπρόθεσμα τουλάχιστον δεν υπάρχει αυτή η προοπτική.

Επίσης, η τεχνητή νοημοσύνη δεν μπορεί να αντικαταστήσει την άμεση αλληλεπίδραση των ακτινολόγων ή άλλων επαγγελματιών υγείας με τους ασθενείς. Αντίθετα, τα συστήματα και οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης θα μπορούσαν να προσθέσουν περισσότερη αξία στο κλινικό έργο, όταν γίνονται εργασίες που είναι απαιτητικές για τους ακτινολόγους και οι οποίες προχωρούν παραπέρα, από τον τομέα της αναγνώρισης εικόνας, όπως είναι για παράδειγμα η διευκόλυνση της ενσωμάτωσης των ποσοτικών ευρημάτων εικόνας με δεδομένα EHR, η βελτιστοποίηση του προγραμματισμού ασθενών, η μείωση της δόσης ακτινοβολίας ή ο χρόνος σάρωσης κ.λπ. Εάν υποθεθεί ότι κάποια στιγμή στο μέλλον, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης αναλάβουν λειτουργίες ανάγνωσης εικόνων, οι περισσότεροι ακτινολόγοι πιθανότατα θα χρησιμοποιούσαν τον επιπλέον χρόνο για να επικεντρωθούν σε άλλες βασικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένων περισσότερων αλληλεπιδράσεων με ασθενείς και παραπέμποντες γιατρούς. Ωστόσο, ακόμα και αυτός ο επιπλέον χρόνος ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμος, καθώς οι ακτινολόγοι έχουν να αντιμετωπίσουν έναν συνεχώς αυξανόμενο φόρτο εργασίας και δεδομένων, ο οποίος προκαλείται από την προοδευτικά αυξανόμενη ένταση στις διαδικασίες ιατρικής απεικόνισης (Davenport & Dreyer, 2018).

2.5. Γνώσεις ακτινολόγων για την τεχνητή νοημοσύνη και τις εφαρμογές της – έρευνες

Η υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης στην κλινική πρακτική στο μέλλον, θα απαιτήσει την τεχνική εκπαίδευση των ακτινολόγων και άλλων επαγγελματιών υγείας πάνω στη χρήση των σχετικών συστημάτων. Ωστόσο όπως δείχνουν τα αποτελέσματα των μελετών που παρουσιάζονται στη συνέχεια, μέχρι σήμερα η τεχνητή νοημοσύνη φαίνεται να απουσιάζει από σχετικά προγράμματα σπουδών ανά τον κόσμο, με αποτέλεσμα οι γνώσεις των ακτινολόγων πάνω στο θέμα να είναι περιορισμένες, μετά από την αποφοίτησή τους. Αντ' αυτού οι γνώσεις τους βασίζονται κυρίως στην προσωπική μελέτη, στην λήψη εκπαίδευσης και κατάρτισης μετά τις βασικές σπουδές, στη συμμετοχή στην επιστημονική έρευνα και στην συμμετοχή σε έργα ανάπτυξης συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία. Η μελέτη των γνώσεων των ακτινολόγων είναι πολύ σημαντική, επειδή οι γνώσεις σχετίζονται με τις στάσεις απέναντι στην τεχνολογία. Έτσι αν υπάρχει έλλειψη τεχνικής κατανόησης της τεχνητής νοημοσύνης, είναι πιθανό ότι οι ακτινολόγοι θα αμφισβητήσουν την ποιότητα και την ασφάλεια των εφαρμογών και δεν θα είναι πρόθυμοι να τις υιοθετήσουν στην πρακτική τους (Strohm et al., 2020).

Στη Γαλλία, οι Waymel et al., (2019) μελέτησαν τις γνώσεις 270 επαγγελματιών ακτινολόγων που εργάζονταν σε ιδιωτικές και δημόσιες μονάδες υγείας και ακτινολογικά κέντρα, γύρω από τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην πρακτική της ακτινολογίας. Το επίπεδο γνώσης τους καταγράφηκε σε χαμηλά επίπεδα, καθώς το 73,3% αυτών θεωρούσαν ότι είχαν ανεπαρκείς γνώσεις σχετικά με τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της ακτινολογίας. Το 13,7% δήλωσαν ότι είχαν λάβει κάποιου είδους ειδική εκπαίδευση πάνω στην τεχνητή νοημοσύνη και το 27% ότι είχαν παρακολουθήσει κάποιο σεμινάριο σχετικά με την τεχνητή νοημοσύνη. Επίσης το 33% δήλωσαν ότι δεν είχαν διαβάσει ποτέ κάποιο επιστημονικό άρθρο πάνω στην τεχνητή νοημοσύνη, ενώ το 52,6% ανέφεραν ότι είχαν διαβάσει από 1-5 σχετικά επιστημονικά άρθρα τους τελευταίους 12 μήνες. Παρά το χαμηλό επίπεδο γνώσης, το 94,4% των ακτινολόγων δήλωσαν το ενδιαφέρον τους στο μέλλον να λάβουν κάποιο είδος γενικής εκπαίδευσης πάνω στις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία, ενώ το 69,3% εξέφρασε ενδιαφέρον για να λάβει τεχνικά προηγμένη εκπαίδευση σε αυτό το θέμα στο μέλλον.

Στα ΗΑΕ, οι Abuzaid et al., (2020) μελέτησαν τις γνώσεις των ακτινολόγων γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη και την ετοιμότητα τους να χρησιμοποιήσουν σχετικές

εφαρμογές στην πρακτική τους. Από τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε ότι το 40% του δείγματος δεν δήλωσαν εξοικειωμένοι με την τεχνητή νοημοσύνη, ενώ το 30,1% ήταν εξοικειωμένοι με τα βασικά στοιχεία της τεχνητής νοημοσύνης. Μόνο το 14,4% είχαν χρησιμοποιήσει εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην τρέχουσα πρακτική τους. Το 74,5% δήλωσαν επίσης, πως δεν είχαν λάβει γνώσεις για την τεχνητή νοημοσύνη και την εφαρμογή της στην ακτινολογία, κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών τους σπουδών και μόνο το 35,9% δήλωσαν ότι είχαν λάβει κάποιο είδος εκπαίδευσης ή κατάρτισης πάνω στην τεχνητή νοημοσύνη.

Στη Νορβηγία ο Lippert (2020) μελέτησε τις γνώσεις ακτινολόγων που εργάζονταν στο δημόσιο σύστημα υγείας γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη. Το επίπεδο γνώσης καταγράφηκε σε χαμηλό επίπεδο. Καθώς οι ακτινολόγοι κλήθηκαν να καταγράψουν σε ελεύθερο κείμενο τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη, το 55% δήλωσαν ότι ήταν ένα πρόγραμμα υπολογιστή / σύστημα βοήθειας, και μόλις το 25% περιελάμβανε στην απάντηση του λέξεις-κλειδιά όπως «μηχανική μάθηση / αλγόριθμοι». Όταν οι ακτινολόγοι ερωτήθηκαν με ποιόν τρόπο πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα μπορούσε να επηρεάσει την ακτινολογία, η πλειοψηφία (55%) απάντησε ότι θα λειτουργήσει ως σύστημα υποστήριξης αποφάσεων / δεύτερης γνώμης, ενώ το 16% θεώρησε ότι θα βελτιώσει την ανίχνευση/ταξινόμηση/διάγνωση, με το 25% να δηλώνει αβεβαιότητα. Μόνο το 23% των ακτινολόγων θεώρησαν πως είχαν ένα καλό επίπεδο γνώσης για την τεχνητή νοημοσύνη, με το 39% να θεωρεί ότι έχει χαμηλό επίπεδο ή καθόλου γνώσεις. Τέλος, το 32% των ακτινολόγων δήλωσαν πως είχαν παρακολουθήσει διαλέξεις / σεμινάρια σχετικά με τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία.

Στην Αυστραλία και τη Νέα Ζηλανδία, οι Van Wijngaarden et al., (2020) μελέτησαν τις αντιλήψεις ενός δείγματος 632 ακτινολόγων από διάφορους τομείς (ακτινολογία κεφαλής, ογκολογική ακτινολογία και δερματολογία), για τον αντίκτυπο της τεχνητής νοημοσύνης στην πρακτική τους στο μέλλον. Η πλειοψηφία των ακτινολόγων (71%) πίστευαν πως η τεχνητή νοημοσύνη θα βελτιώνει στο μέλλον τον τομέα της πρακτικής τους και αυτή η επίδραση θα ήταν ορατή σε λιγότερο από 5 χρόνια. Επίσης, η πλειοψηφία (85%) πίστευε ότι οι ανάγκες σε ιατρικό εργατικό δυναμικό θα επηρεαστούν «κάπως» ή «σε μεγάλο βαθμό» από την τεχνολογία μέσα στην επόμενη δεκαετία. Τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή της τεχνολογίας που δηλώθηκαν συχνότερα από τους συμμετέχοντες ήταν η βελτιωμένη πρόσβαση στον έλεγχο ασθενειών και η μείωση του χρόνου που θα αφιερώνεται σε μονότονες εργασίες.

Σε μια άλλη μελέτη, οι Tajaldeen & Alghamdi (2020) αξιολόγησαν τις γνώσεις 93 ακτινολόγων στον τομέα της διαγνωστικής ακτινολογίας (επαγγελματιών και εκπαιδευόμενων ακτινολόγων) σχετικά με την τεχνητή νοημοσύνη και διαπίστωσαν την ύπαρξη σημαντικών κενών γνώσεων. Ειδικότερα το 9% δήλωσαν μόνο, ότι ήταν σε θέση να κάνουν αναλύσεις μεγάλων δεδομένων, ενώ μόνο το 23% ανέφεραν ότι είχαν γενικές γνώσεις τεχνητής νοημοσύνης και είχαν χρησιμοποιήσει εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης κάποια στιγμή στην πρακτική τους. Το 82% δήλωσαν πως δεν χρησιμοποιούν λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης στην καθημερινή τους πρακτική (ερμηνεία διαγνωστικών απεικονίσεων) και μόνο το 25% ανέφεραν πως είχαν διαβάσει περισσότερα από τέσσερα άρθρα σχετικά με το θέμα της τεχνητής νοημοσύνης στη διαγνωστική ακτινολογία τους τελευταίους 12 μήνες. Παρά το χαμηλό επίπεδο γνώσεων, το 71% των συμμετεχόντων δήλωσαν πρόθυμοι να συμβάλουν στην ανάπτυξη λογισμικού τεχνητής νοημοσύνης για να βοηθήσουν στις διαγνωστικές ακτινολογικές διαδικασίες. Σε ότι αφορά το μέλλον της τεχνητής νοημοσύνης στη διαγνωστική ακτινολογία για τα επόμενα 20 χρόνια, οι ερωτηθέντες πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα είχε σημαντική επίδραση στις εργασίες της διαγνωστικής ακτινολογίας και μόνο το 2% θεώρησε ότι η τεχνητή νοημοσύνη δεν θα έχει επίδραση.

Το ερευνητικό ενδιαφέρον για τις γνώσεις γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη έχει επίσης επικεντρωθεί στους φοιτητές ακτινολογίας και ιατρικής. Καθώς οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία αυξάνονται και διαδίδονται, έχει εκφραστεί η ανάγκη, αυτός ο τομέας μελέτης να συμπεριληφθεί στα σχετικά προγράμματα σπουδών. Οι έρευνες δείχνουν ότι μέχρι σήμερα οι γνώσεις των φοιτητών ιατρικής ή ακτινολογίας είναι περιορισμένες πάνω στις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης και ότι σε μικρό βαθμό τα προγράμματα σπουδών ανά τα ιδρύματα του κόσμου έχουν εισάγει την τεχνητή νοημοσύνη στα αντικείμενα σπουδών (Gallix & Chong, 2019).

Για παράδειγμα, οι Dos Santos et al., (2018), οι οποίοι αξιολόγησαν τις γνώσεις 263 προπτυχιακών φοιτητών ιατρικής απέναντι στην τεχνητή νοημοσύνη και της εφαρμογή της στους τομείς της ιατρικής και της ακτινολογίας, διαπίστωσαν ότι περίπου 1 στους 2 (52%) γνώριζε ή είχε διαβάσει τουλάχιστον για μια εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία, ενώ το 68% δήλωσε ότι δεν γνώριζε τις σχετικές τεχνολογίες. Χαρακτηριστικό είναι επίσης το γεγονός ότι οι φοιτητές επεσήμαναν ότι οι γνώσεις τους για την τεχνητή νοημοσύνη προέρχονταν

περισσότερο από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης παρά από τη διδασκαλία στο πανεπιστήμιο. Παρά το μέτριο επίπεδο γνώσεων, το 71% των φοιτητών στην έρευνα εξέφρασαν την επιθυμία τους ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα πρέπει να συμπεριληφθεί στην ιατρική εκπαίδευση.

2.6. Στάσεις ακτινολόγων απέναντι στην αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης – έρευνες

Καθώς η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί μια νέα και επερχόμενη τεχνολογία στον τομέα της ακτινολογίας, αρκετές πρόσφατες έρευνες έχουν μελετήσει τις στάσεις των ακτινολόγων απέναντι στη χρήση και αξιοποίηση της. Έχει αναφερθεί πως τα μεγάλα δεδομένα και η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί στο μέλλον να μεταβάλλουν την καθημερινή πρακτική των ακτινολόγων και άλλων επαγγελματιών υγείας, γι' αυτό και οι απόψεις τους και οι στάσεις των εν λόγω επαγγελματιών, είναι πιθανό να επηρεάσουν το επίπεδο υιοθέτησης και αποδοχής της τεχνολογίας στο μέλλον (ESR, 2019).

Μια πρώτη μεγάλη έρευνα πάνω στον τομέα αυτό, διεξήχθη από την Ευρωπαϊκή Εταιρεία Ακτινολογίας (European Society of Radiology) στα μέλη της, διερευνώντας τις προσδοκίες τους και τις στάσεις τους απέναντι στη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία. Στην έρευνα συμμετείχαν 675 ακτινολόγοι οι οποίοι εργάζονταν σε δημόσιες/ακαδημαϊκές μονάδες υγείας. Μεταξύ αυτών, σε ποσοστά μεγαλύτερα του 30%, οι ακτινολόγοι πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα έχει αντίκτυπο στους τομείς της ογκολογικής ακτινολογίας, της ακτινολογίας του μυοσκελετικού συστήματος, της νευροακτινολογίας και της ακτινολογίας μαστού. Το 56% πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα αυξήσει τις ευκαιρίες εργασίας τους και το 75% ότι θα μειώσει το φόρτο εργασίας τους. Ως προς τον βαθμό στον οποίο η τεχνητή νοημοσύνη θα επηρεάσει το προφίλ του ακτινολόγου, το 54% πίστευε ότι θα το καταστήσει πιο κλινικό και το 42% πιο εξειδικευμένο. Αναφορικά με την επίδραση της τεχνολογίας στην σχέση ιατρού-ασθενούς, το 41% πίστευε ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα καταστήσει τη σχέση ακτινολόγου-ασθενούς πιο διαδραστική, το 21% πιο απρόσωπη και το 38% θεώρησε ότι δεν θα έχει επίδραση. Τέλος ως προς το επίπεδο τρέχουσας χρήσης της τεχνολογίας, το 48% ανέφεραν ότι δεν είχαν χρησιμοποιήσει κάποια σχετική εφαρμογή, το 20% ότι είχαν χρησιμοποιήσει και το 30% ότι σχεδιάζουν να χρησιμοποιήσουν στο μέλλον. Συνολικά, οι ακτινολόγοι

εξέφρασαν θετικές στάσεις απέναντι στην αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία (ESR, 2019).

Στη μελέτη των Waymel et al., (2019) που παρατέθηκε νωρίτερα, οι επαγγελματίες ακτινολόγοι στην Γαλλία, πίστευαν στην πλειοψηφία τους (79,3%) ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα έχει θετικό αντίκτυπο στη μελλοντική τους πρακτική. Οι προσδοκίες που είχαν διαμορφώσει σχετικά με την χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία ήταν ότι θα συμβάλλει στη μείωση των ιατρικών σφαλμάτων που σχετίζονται με την απεικόνιση (81%) και στη μείωση του χρόνου ερμηνείας των απεικονιστικών εξετάσεων (74,4%).

Οι Jungmann et al., (2020) μελέτησαν τις στάσεις των ακτινολόγων και άλλων ειδικών πληροφορικής, καθώς και εκπροσώπων των ανωτέρω βιομηχανιών απέναντι στην τεχνητή νοημοσύνη και τον μελλοντικό της αντίκτυπο στην εργασία τους. Στην έρευνα συμμετείχαν 123 άτομα τα οποία απάντησαν σε ένα δομημένο ερωτηματολόγιο. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα (79% των ακτινολόγων) δήλωσαν ότι οι ποσοτικές μετρήσεις απεικονιστικών βιοδεικτών και η υποστήριξη στην αναφορά (reporting), είναι οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης που κατά την άποψη τους είχαν τη μεγαλύτερη σημασία για την κλινική εργασία. Επίσης το 86% πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα καταστήσει πιο αποτελεσματική την ιατρική επιστήμη. Αντίθετα, μόνο το 25% των ερωτηθέντων είχαν εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα της τεχνητής νοημοσύνης και μόνο το 17% πίστευε ότι η ιατρική θα γίνει πιο «ανθρώπινη» μέσω της χρήσης της τεχνητής νοημοσύνης.

Οι Eltorai et al., (2020) στις ΗΠΑ μελέτησαν τις στάσεις 95 ακτινολόγων στον κλάδο της ακτινολογίας θώρακα για την τεχνητή νοημοσύνη στην πρακτική τους, καθώς και τις απόψεις τους για τον πιθανό αντίκτυπο της στο μέλλον στην ακτινολογία. Μεταξύ του δείγματος, μόνο το 7,3% δήλωσαν ότι είχαν διαβάσει κάποιο επιστημονικό άρθρο για την τεχνητή νοημοσύνη και το 23,2% ότι είχαν χρησιμοποιήσει κάποια εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης στην πρακτική τους. Το 31,6% των ακτινολόγων πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα έχει δραματικό αντίκτυπο στην πρακτική τους στα επόμενα 5-10 χρόνια, ενώ το 61,1% πίστευαν ότι ο αντίκτυπος θα είναι δραματικός στα επόμενα 10 έως 20 χρόνια. Μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό αυτών θεώρησαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα αντικαταστήσει τους ακτινολόγους. Αντίθετα, το 89,5% των ακτινολόγων πίστευαν ότι η ικανοποίηση από την εργασία τους θα αυξηθεί στο μέλλον από τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης.

Αντίθετα στην έρευνα των Abuzaid et al., (2020) που παρουσιάστηκε νωρίτερα, το 85,6% των επαγγελματιών ακτινολόγων θώρακος στα ΗΑΕ διαφώνησε με την άποψη ότι η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ακτινολογία. Παρ' όλα αυτά σε συνάφεια με άλλες μελέτες, μόνο το 16,3% του δείγματος συμφώνησε με το ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα απειλήσει ή θα διαταράζει στο μέλλον την πρακτική της ακτινολογίας.

Στη Βραζιλία, οι Pauwels & Chokyu (2020) αξιολόγησαν τις στάσεις ενός δείγματος οδοντιάτρων και φοιτητών οδοντιατρικής σχετικά με τον αντίκτυπο της τεχνητής νοημοσύνης στην στοματική ακτινολογία και την οδοντιατρική, καθώς και αν ένα πρόγραμμα κατάρτισης σχετικά με τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης που τους παραδόθηκε, μπορούσε να επηρεάσει τις στάσεις τους απέναντι στην τεχνολογία. Στην έρευνα συμμετείχαν 293 άτομα, εκ των οποίων, το 57% ήταν φοιτητές οδοντιατρικής και οι υπόλοιποι οδοντίατροι. Το πρόγραμμα κατάρτισης παραδόθηκε σε 7 συνεδρίες στο δείγμα. Πριν από την παράδοση του προγράμματος υπήρχε ισχυρή συμφωνία μεταξύ των συμμετεχόντων ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στο μέλλον στην ακτινολογία του στόματος, με περίπου το 1/3 να εκφράζει ανησυχίες. Μετά το πρόγραμμα κατάρτισης, αυξήθηκε το ποσοστό συμφωνίας σχετικά με τους διαφορετικούς ρόλους της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία και ο ενθουσιασμός σχετικά με την τεχνητή νοημοσύνη και μειώθηκαν οι ανησυχίες σχετικά με την πιθανή αντικατάσταση των ακτινολόγων από την τεχνητή νοημοσύνη. Συνολικά οι στάσεις του δείγματος ήταν θετικές απέναντι στην τεχνητή νοημοσύνη και το πρόγραμμα κατάρτιση μείωσε τις σχετικές τους ανησυχίες.

Στην έρευνα του Lippert (2020) οι ακτινολόγοι στη Νορβηγία εξέφρασαν αβεβαιότητα σχετικά με το αν η τεχνητή νοημοσύνη θα μπορεί στο μέλλον να βελτιώσει την ακρίβεια της διάγνωσης και της θεραπείας στην ακτινολογία. Ειδικότερα, το 55% πίστευε ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα βελτιώσει την ποιότητα των ακτινολογικών εξετάσεων σε σύγκριση με το 42% που δήλωσε αβεβαιότητα και το 58% πίστευε ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα αυξήσει την ακρίβεια στη διάγνωση και τη θεραπεία σε σύγκριση με το 32% που δήλωσε αβεβαιότητα. Όσο αφορά την αντικατάσταση των ακτινολόγων από την τεχνητή νοημοσύνη, το 70% δήλωσε αβεβαιότητα, ενώ το 23% πίστευε ότι αυτό θα γίνει σε μικρό ή σε πολύ μικρό βαθμό. Το 65% του δείγματος εξέφρασε ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο και την ασφάλεια των δεδομένων, ωστόσο ένα ποσοστό κάτω από το ήμισυ του δείγματος

(40%), δεν πίστευε ότι οι ασθενείς θα αρνούσανται ακτινολογικές εξετάσεις λόγω ανησυχιών για τα δεδομένα τους.

Σύμφωνα με τους Strohm et al., (2020), οι ακτινολόγοι υιοθετούν διαφορετικές προοπτικές απέναντι στις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης. Ενώ κάποιои αντιμετώπιζουν τα νέα συστήματα με ενθουσιασμό ή ενασχολούνται με αυτά από περιέργεια, στην αντίπερα όχθη υπάρχει σκεπτικισμός και φόβος από μερικούς, αλλά στην τελευταία περίπτωση η έλλειψη γνώσεων μπορεί να παίζει καθοριστικό ρόλο. Σύμφωνα με μελέτη που έκαναν οι ίδιοι ερευνητές σε ένα δείγμα 24 ακτινολόγων στην Ολλανδία, μέσω δομημένων συνεντεύξεων, κανείς δεν εξέφρασε φόβο ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα αντικαταστήσει τους ακτινολόγους. Αντίθετα, οι ερωτώμενοι θεώρησαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα συμβάλλει στη διαμόρφωση μιας νέας επαγγελματικής ταυτότητας για τους ακτινολόγους και ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα λειτουργήσει συμπληρωματικά στο έργο τους προσδίδοντάς τους έναν πιο τεχνικό ρόλο.

Στην Ιταλία οι Corrola et al., (2021) μελέτησαν τις απόψεις των επαγγελματιών ακτινολόγων της Ιταλικής Εταιρείας Ιατρικής και Επεμβατικής Ακτινολογίας (SIRM), ως προς τα αντιληπτά οφέλη της εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης στην πρακτική της ακτινολογίας, αλλά και τις στάσεις τους απέναντι σε αυτή την τεχνολογία. Στη μελέτη συμμετείχαν 1032 ακτινολόγοι. Τα αντιληπτά οφέλη που αναφέρθηκαν συχνότερα από το δείγμα της έρευνας ήταν το χαμηλότερο ποσοστό διαγνωστικού σφάλματος από τη χρήση της τεχνολογίας (73,0%) και η βελτιστοποίηση της εργασίας των ακτινολόγων (67,9%). Οι στάσεις της πλειοψηφίας του δείγματος ήταν στο μεγαλύτερο μέρος τους θετικές. Συγκεκριμένα το 77% εξέφρασε ευνοϊκές στάσεις απέναντι στην υιοθέτηση της τεχνητής νοημοσύνης στην πρακτική της ακτινολογίας, το 18% ήταν αβέβαιο, ενώ μόλις ένα 5% των ακτινολόγων διατύπωσε αρνητικές στάσεις. Επίσης, το 88,9% πίστευαν πως η τεχνητή νοημοσύνη δεν θα αντικαταστήσει τους ακτινολόγους. Τα σημαντικότερα θέματα ανησυχίας που αναφέρθηκαν ήταν ο κίνδυνος χαμηλότερης επαγγελματικής φήμης των ακτινολόγων (60,3%) και το αυξημένο κόστος και ο φόρτος εργασίας λόγω της συντήρησης των συστημάτων τεχνητής νοημοσύνης και ανάλυσης δεδομένων (39,0%).

Οι έρευνες σχετικά με τις στάσεις απέναντι στην τεχνητή νοημοσύνη και την εφαρμογή της στην ακτινολογία, έχουν γίνει επίσης και σε δείγματα φοιτητών στον τομέα της ακτινολογίας και όχι μόνο σε επαγγελματίες ακτινολόγους. Οι Oio et al., (2019), για παράδειγμα μελέτησαν τις στάσεις και τις ανάγκες εκπαίδευσης φοιτητών

ακτινολογίας στη Σιγκαπούρη, σχετικά με την τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση. Στη μελέτη αυτή συμμετείχαν συνολικά 125 φοιτητές. Η πλειοψηφία των συμμετεχόντων συμφώνησαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση θα αλλάξει στο μέλλον δραστικά την πρακτική της ακτινολογίας (88,8%) και θα καταστήσει την ακτινολογία πιο «συναρπαστική» (76,0%). Το 80% δήλωσαν ότι θα επιθυμούσαν να ειδικευτούν στην τεχνητή νοημοσύνη πάνω στην ακτινολογία, εφόσον τους δινόταν αυτή η επιλογή. Το 64,8% θεώρησαν τον εαυτό τους αρχάριους ως προς την κατανόηση θεμάτων τεχνητής νοημοσύνης, το 76,0% σχεδίαζαν να εμπλουτίσουν περαιτέρω τις γνώσεις τους γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη και το 67,2% ήταν πρόθυμοι να συμμετάσχουν σε ένα ερευνητικό έργο σχετικό με την τεχνητή νοημοσύνη. Επίσης ένα μεγάλο μέρος του δείγματος (84,8%) πίστευε ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα έπρεπε να διδάσκεται ως ξεχωριστό μάθημα στη σχολή τους και το 59,2% θεώρησαν ότι το πρόγραμμα σπουδών τους δεν έχει εφαρμόσει επαρκώς στη διδασκαλία, θέματα τεχνητής νοημοσύνης.

Στην έρευνα των Dos Santos et al., (2018), που αναφέρθηκε νωρίτερα, παρά το μέτριο επίπεδο γνώσεων των φοιτητών ιατρικής γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη, οι στάσεις απέναντι στην υιοθέτηση της τεχνολογίας στο μέλλον ήταν θετικές. Ένα μεγάλο μέρος των συμμετεχόντων συμφώνησαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα μπορούσε ενδεχομένως να ανιχνεύσει παθολογίες σε ακτινολογικές εξετάσεις (83%), αλλά θεώρησαν ότι αποκλειστικά με τη χρήση της τεχνολογίας δεν μπορεί να εξακριβωθεί μια οριστική διάγνωση (56%). Παρ' όλα αυτά περισσότεροι από 2 στους 3 συμφώνησαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα φέρει επανάσταση και θα βελτιώσει την ακτινολογία (77% και 86%), και ένα μεγάλο ποσοστό διαφώνησαν με το ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα αντικαταστήσει τους ακτινολόγους και την εργασία τους

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, οι Sit et al., (2020) διερεύνησαν τις στάσεις των φοιτητών ιατρικής για την τεχνητή νοημοσύνη, την κατανόηση τους για την τεχνολογία και την πρόθεση ανάπτυξης της σταδιοδρομίας τους στην ακτινολογία. Αν και το 88% των φοιτητών πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην υγειονομική περίθαλψη στο μέλλον, το 49% θεώρησε ότι ήταν λιγότερο πιθανό να ακολουθήσουν μια σταδιοδρομία στην ακτινολογία λόγω της τεχνητής νοημοσύνης. Ωστόσο το 89% των φοιτητών πίστευαν ότι η διδασκαλία της τεχνητής νοημοσύνης θα ήταν επωφελής για τη σταδιοδρομία τους και το 78% συμφώνησαν ότι θα έπρεπε να λαμβάνουν εκπαίδευση στην τεχνητή νοημοσύνη στις προπτυχιακές τους σπουδές. Μόνο το 9,8% των φοιτητών δήλωσαν ότι είχαν λάβει κάποιο είδος

εκπαίδευσης/διδασκαλία πάνω στην τεχνητή νοημοσύνη και κανένας από αυτούς τους φοιτητές δεν την είχε λάβει ως μέρος του υποχρεωτικού προγράμματος σπουδών τους. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι φοιτητές που είχαν λάβει εκπαίδευση/διδασκαλία για την τεχνητή νοημοσύνη, ήταν πιο πιθανό να εξετάσουν να ακολουθήσουν τον τομέα της ακτινολογίας. Ωστόσο ακόμα και αυτοί οι φοιτητές δήλωσαν έλλειψη εμπιστοσύνης απέναντι στην τεχνολογία και έλλειψη κατανόησης για την κριτική χρήση των εργαλείων της τεχνητής νοημοσύνης στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης.

Κεφάλαιο 3^ο: Μεθοδολογία έρευνας

3.1. Σκοπός μελέτης

Ο σκοπός της έρευνας που διενεργήθηκε στη συνέχεια ήταν διττός: αφενός να μελετήσει τις γνώσεις των ακτινολόγων στην Ελλάδα, αναφορικά με την τεχνητή νοημοσύνη και την μηχανική μάθηση γενικά, αλλά και ειδικότερα στο πλαίσιο των εφαρμογών τους στον τομέα της ακτινολογίας και αφετέρου να μελετήσει τις στάσεις των ακτινολόγων απέναντι στην χρήση της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στον τομέα της ακτινολογίας. Τόσο οι γνώσεις, όσο και οι στάσεις των ακτινολόγων για νέες τεχνολογικές εφαρμογές στην ακτινολογία, επηρεάζει το επίπεδο υιοθέτησης αυτών των νέων τεχνολογιών, αργότερα στον τομέα της πρακτικής τους, και συνεπώς η διερεύνηση αυτών των θεμάτων είναι χρήσιμη για τους επαγγελματίες του κλάδου.

3.2. Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης, διαμορφώθηκαν με βάση τον σκοπό της έρευνας και είναι τα ακόλουθα:

- 1) Ποιο είναι το επίπεδο γνώσης των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων στην Ελλάδα γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση;
- 2) Ποιο είναι το επίπεδο γνώσης και εξοικείωσης των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων στην Ελλάδα με τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία;
- 3) Πως διαμορφώνονται οι στάσεις των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων στην Ελλάδα απέναντι στην εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία;

3.3. Μέθοδος έρευνας

Η έρευνα ακολουθεί την ποσοτική μέθοδο. Η ποσοτική έρευνα είναι μια μέθοδος στην ερευνητική μεθοδολογία και ανάλυση, η οποία χρησιμοποιείται όταν τα δεδομένα που συλλέγονται και αναλύονται είναι αριθμητικά ή μπορούν να μετατραπούν σε αριθμούς. Δεδομένης της φύσης των δεδομένων, η ανάλυση τους γίνεται με στατιστικές τεχνικές, οι οποίες αξιοποιούνται για την οργάνωση, την ερμηνεία και την παρουσίαση των αριθμητικών δεδομένων, σε μορφές που παρέχουν πληροφορίες (Allen, 2017).

Σκοπός της ποσοτικής έρευνας, είναι να δημιουργήσει γνώση, να αναδείξει τάσεις, καθώς και σχέσεις μεταξύ μεταβλητών. Έτσι, η συλλογή ποσοτικών πληροφοριών επιτρέπει στους ερευνητές να διεξάγουν απλές έως εξαιρετικά εξελιγμένες στατιστικές αναλύσεις για τη συγκέντρωση των δεδομένων και την παρουσίασή τους με δομημένο τρόπο (π.χ. με τη χρήση μέσων όρων, ποσοστών, διαγραμμάτων συχνοτήτων, κλπ.), για την απεικόνιση σχέσεων μεταξύ των δεδομένων (π.χ. εξαρτήσεις μεταβλητών, σχέσεις αιτίου - αποτελέσματος) και για τη διεξαγωγή συγκρίσεων μεταξύ συγκεντρωτικών δεδομένων (Coghlan & Brydon-Miller, 2014).

Η ποσοτική έρευνα επιλέχθηκε στην παρούσα μελέτη επειδή θεωρήθηκε, από πολλές απόψεις, ως η καταλληλότερη μεθοδολογία. Πρώτον, η ποσοτική έρευνα δίνει τη δυνατότητα μελέτης και ανάλυσης δεδομένων από δείγματα μεγάλου μεγέθους, χωρίς μεγάλες απαιτήσεις σε χρονικούς και οικονομικούς πόρους (Allen, 2017). Έτσι μέσω της αξιοποίησής της στην παρούσα έρευνα, δόθηκε η ευκαιρία να μελετηθεί ένας μεγάλος αριθμός ακτινολόγων στην Ελλάδα, ώστε να διαμορφωθεί ένα αποτέλεσμα για το επίπεδο γνώσης και στάσης τους για την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση και την εφαρμογή της στην ακτινολογία, το οποίο θα μπορούσε να είναι γενικεύσιμο στον γενικό πληθυσμό. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, μιας και στην ελληνική βιβλιογραφία δεν εντοπίστηκαν προηγούμενες σχετικές έρευνες.

Δεύτερον, η ποσοτική έρευνα είναι κατάλληλη όταν οι ερευνητές επιθυμούν να αξιολογήσουν μεταβλητές όπως οι γνώσεις και οι στάσεις. Αυτοί οι δύο τύποι μεταβλητών αξιολογούνται περισσότερο κατάλληλα με δομημένα ερωτηματολόγια και κλίμακες βαθμολογίας, τα οποία αποτελούν όργανα που παρουσιάζουν γραπτώς πληροφορίες σε έναν ερωτώμενο και στη συνέχεια απαιτούν μια απάντηση, σε ένα προκαθορισμένο εύρος επιλογών (π.χ. κλίμακες Likert). Αυτά τα ερωτηματολόγια αναπτύσσονται σύμφωνα με αυστηρές διαδικασίες που διασφαλίζουν ότι οι απαντήσεις μπορούν να αθροιστούν για να αποδώσουν ένα μόνο σκορ που αντιπροσωπεύει μια στάση. Η επιλογή των κατάλληλων εργαλείων κρίνεται από την εγκυρότητα και την αξιοπιστία τους (Coghlan & Brydon-Miller, 2014). Στην παρούσα έρευνα λοιπόν, προκειμένου να διασφαλιστούν οι δύο παραπάνω συνθήκες, επιλέχθηκε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενες συναφείς διεθνείς έρευνες. Αυτό αναμένεται να προσδώσει ένα ικανοποιητικό επίπεδο αξιοπιστίας στα αποτελέσματά μας.

3.4. Δείγμα έρευνας

Η ποσοτική έρευνα είναι ένας τρόπος για την απόκτηση πληροφοριών από μια συγκεκριμένη ομάδα ανθρώπων, γνωστή και ως δείγμα του πληθυσμού (Coghlan & Brydon-Miller, 2014). Ο πληθυσμός στην παρούσα μελέτη περιλαμβάνει το σύνολο των τεχνολόγων ακτινολόγων και των ιατρών ακτινολόγων στην Ελλάδα. Ωστόσο καθώς η μελέτη του πληθυσμού δεν είναι δυνατή λόγω περιορισμών χρόνου και κόστους, επιλέγεται ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα (Allen, 2017). Το μέγεθος του δείγματος στην παρούσα μελέτη είναι $N = 140$ άτομα.

3.5. Ερωτηματολόγιο

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε ένα δομημένο ερωτηματολόγιο με ερωτήσεις κλειστού τύπου. Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, προκειμένου να ενισχυθεί η αξιοπιστία της μελέτης, επιλέχθηκε ένα ερωτηματολόγιο που είχε ήδη χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενες μελέτες. Ειδικότερα οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου αντλήθηκαν από τις μελέτες των Ooi et al., (2019) και Collado-Mesa et al., (2017), οι οποίες αμφοτέρωθεν μελέτησαν και αξιολόγησαν τις τρέχουσες γνώσεις και στάσεις των ακτινολόγων στη Σιγκαπούρη και τις ΗΠΑ αντίστοιχα, προκειμένου για την αξιολόγηση των εκπαιδευτικών τους αναγκών και τη δημιουργία προγραμμάτων κατάρτισής τους πάνω στην τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση και την εφαρμογή τους στον τομέα της ακτινολογίας. Οι ερωτήσεις αποδόθηκαν στην ελληνική γλώσσα από την ερευνήτρια σε ελεύθερη μετάφραση, κάνοντας τις απαραίτητες τροποποιήσεις, ώστε να αποδοθεί το ακριβές τους νόημα από τις αρχικές προτάσεις.

Το ερωτηματολόγιο της έρευνας παρουσιάζεται στο Παράρτημα Ι. Το ερωτηματολόγιο δομείται σε τρία μέρη και περιλαμβάνει συνολικά δεκαπέντε (15) ερωτήσεις για την μελέτη των ερευνητικών ερωτημάτων. Το πρώτο μέρος συλλέγει δεδομένα για τα δημογραφικά και εργασιακά χαρακτηριστικά του δείγματος. Τα στοιχεία αυτά αφορούν συγκεκριμένα, το φύλο, την ηλικία, το είδος του φορέα εργασίας, τα έτη συνολικής προϋπηρεσίας στο επάγγελμα του ακτινολόγου, τον υποτομέα πρακτικής και την πόλη/περιοχή εργασίας.

Το δεύτερο μέρος του ερωτηματολογίου περιλαμβάνει έξι (6) ερωτήσεις και διαμορφώθηκε ώστε να αντληθούν πληροφορίες για το επίπεδο γνώσης των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων στην Ελλάδα γύρω από την τεχνητή

νοημοσύνη/μηχανική μάθηση και τις εφαρμογές της στην ακτινολογία. Μέσω αυτού του μέρους απαντώνται τα δύο πρώτα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης.

Το τρίτο και τελευταίο μέρος του ερωτηματολογίου περιλαμβάνει εννέα (9) ερωτήσεις και διαμορφώθηκε ώστε να αξιολογηθούν οι στάσεις των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων στην Ελλάδα απέναντι στις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία, απαντώντας έτσι στο τρίτο ερευνητικό ερώτημα της μελέτης. Οι απαντήσεις στην συγκεκριμένη ενότητα δίδονται σε κλίμακα Likert 5 βαθμών, ως εξής: 1 = Διαφωνώ απόλυτα, 2 = Διαφωνώ, 3 = Ουδέτερος, 4 = Συμφωνώ και 5 = Συμφωνώ απόλυτα.

3.6. Διαδικασίες έρευνας

Η έρευνα διεξήχθη ηλεκτρονικά. Το ερωτηματολόγιο δημιουργήθηκε σε ηλεκτρονική μορφή στην πλατφόρμα Google Forms και ο σύνδεσμος του κοινοποιήθηκε σε τρεις ομάδες στο κοινωνικό δίκτυο Facebook. Αυτές ήταν οι ομάδες: «Ομοσπονδία Τεχνολόγων Ακτινολόγων Ελλάδος», «Ακτινοτεχνολογία και Τεχνητή νοημοσύνη» και «Ακτινολογική Εταιρεία Κρήτης». Η ηλεκτρονική φόρμα του ερωτηματολογίου παρέμεινε ανοικτή για τη συλλογή των απαντήσεων από 17/1/2021 μέχρι και 09/03/2021. Πρέπει να σημειωθεί ότι η διεξαγωγή της έρευνας επιλέχθηκε να γίνει ηλεκτρονικά, καθώς μόνο αυτή η δυνατότητα υπήρχε, δεδομένου ότι κατά τη χρονική στιγμή της διεξαγωγής της στην Ελλάδα, εφαρμόζονταν μέτρα περιορισμού κοινωνικών επαφών και μέτρα τήρησης κοινωνικών αποστάσεων, λόγω της πανδημίας του COVID-19.

3.7. Ανάλυση δεδομένων

Καθώς η έρευνα έγινε ηλεκτρονικά, τα αποτελέσματα των απαντήσεων συγκεντρώθηκαν αυτόματα μέσω της πλατφόρμας Google Forms σε ένα αρχείο Microsoft Excel. Στη συνέχεια περάστηκαν στο στατιστικό πρόγραμμα IBM SPSS όπου και αναλύθηκαν με τη χρήση πινάκων συχνοτήτων και σχετικών συχνοτήτων, καθώς και με τη χρήση μέτρων περιγραφικής στατιστικής (μέσος όρος, τυπική απόκλιση). Πραγματοποιήθηκε επίσης έλεγχος για την αξιοπιστία του ερωτηματολογίου με τη χρήση του συντελεστή Alpha του Cronbach. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 4ο: Αποτελέσματα έρευνας

4.1. Ανάλυση αξιοπιστίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης αξιοπιστίας του ερωτηματολογίου. Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 1, η αξιοπιστία του ερωτηματολογίου βρίσκεται σε αποδεκτά και ικανοποιητικά επίπεδα, με τιμή $\text{Alpha}=0.775$ για όλο το σύνολο των 9 ερωτήσεων της ενότητας «Στάσεις για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση». Πρόσθετα, στον Πίνακα 6 του Παραρτήματος II, παρουσιάζονται οι μεταβολές του συντελεστή αξιοπιστίας Cronbach's Alpha.

	Cronbach's Alpha	N of Items
Στάσεις για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση	.775	9

Πίνακας 1. Ανάλυση αξιοπιστίας: Συντελεστής αξιοπιστίας Cronbach's Alpha

4.2. Ανάλυση Δεδομένων

Έχοντας παρουσιάσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης παραγόντων και αξιοπιστίας ακολουθεί η ανάλυση της διερεύνησης των ερευνητικών ερωτημάτων της μελέτης, καθώς και η παρουσίαση των απαραίτητων περιγραφικών μέτρων και διαγραμμάτων.

4.2.1 Δημογραφικά χαρακτηριστικά

Αρχίζοντας από τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του δείγματος, το 65% ήταν γυναίκες, ενώ σχετικά με την ηλικία το 32.14% και το 39.29% είχαν ηλικία «25-35» και «36-45» αντίστοιχα. Όσον αφορά την εργασία, το 30.71% και το 22.86% δήλωσαν τις επιλογές «Περιφερειακό νοσοκομείο/στρατιωτικό νοσοκομείο» και «Ιδιωτική κλινική/Ιδιωτικό διαγνωστικό κέντρο» αντίστοιχα, ενώ το 21.43% δήλωσε ότι εργάζεται σε «Πανεπιστημιακό νοσοκομείο». Ακόμη, η πλειονότητα των συμμετεχόντων με 52.86% δήλωσε ότι έχει εμπειρία άνω των 12 ετών, ενώ το 27.14% δήλωσε εμπειρία «0-5» έτη. Στην διερεύνηση του υποτομέα πρακτικής, η πλειονότητα με ποσοστό 30.71% δήλωσε ότι εργάζεται πάνω σε «Ακτινολογία

μυοσκελετικού συστήματος», ενώ με ποσοστά 12.86% και 12.14 παρατηρήθηκαν οι υποτομείς «Ακτινολογία θώρακα» και «Ακτινολογία μαστού» αντίστοιχα. Τα δεδομένα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. Τέλος, σχετικά με την τοποθεσία εργασίας, το 33.57% εργάζεται στη Αθήνα, ενώ ένα ποσοστό της τάξης του 10.71% στο Ηράκλειο Κρήτης. Ο αντίστοιχος πίνακας συχνοτήτων για την τοποθεσία εργασίας, παρουσιάζεται στον Πίνακα 7 του Παραρτήματος II.

		N	N%
Φύλο	Άρρεν	49	35,00%
	Θήλυ	91	65,00%
	Σύνολο	140	100,00%
Ηλικία	25-35	45	32,14%
	36-45	55	39,29%
	>45	40	28,57%
	Σύνολο	140	100,00%
Εργασία (που εργάζεστε)	Άνεργη	1	0,71%
	Εξειδικευμένο νοσοκομείο	12	8,57%
	Ιδιωτική κλινική/Ιδιωτικό διαγνωστικό κέντρο	32	22,86%
	Ιδιωτικό ιατρείο	3	2,14%
	Κέντρο υγείας/Ιατρείο ΕΟΠΠΥ	19	13,57%
	Πανεπιστημιακό νοσοκομείο	30	21,43%
	Περιφερειακό νοσοκομείο/στρατιωτικό νοσοκομείο	43	30,71%
	Σύνολο	140	100,00%
Έτη συνολικής προϋπηρεσίας ως ακτινολόγος	0-5 έτη	38	27,14%
	6-11 έτη	28	20,00%
	>12	74	52,86%
	Σύνολο	140	100,00%
Υποτομέας πρακτικής	---	1	0,71%
	Ακτινοθεραπεία	6	4,29%
	Ακτινολογία θώρακα	18	12,86%
	Ακτινολογία καρδιαγγειακού συστήματος	7	5,00%
	Ακτινολογία κεφαλής –τραχήλου	3	2,14%
	Ακτινολογία μαστού	17	12,14%
	Ακτινολογία μυοσκελετικού συστήματος	43	30,71%
	Ακτινολογία ουροποιητικού συστήματος	1	0,71%
	Ακτινολογία πεπτικού συστήματος	1	0,71%

Ακτινολογική απεικόνιση	1	0,71%
Αξονική Τομογραφία	3	2,14%
Βραχυθεραπεία	1	0,71%
Γενική Ακτινολογία	1	0,71%
Επείγουσα ακτινολογία	11	7,86%
Επεμβατική ακτινολογία	4	2,86%
Κλασική ακτινολογία	1	0,71%
Μαγνητική τομογραφία	3	2,14%
Νευροακτινολογία	7	5,00%
Όλα εκτός επεμβατικής καρδιάς	1	0,71%
Παιδιατρική ακτινολογία	3	2,14%
Πολλά από τα παραπάνω	1	0,71%
Προστάτης	1	0,71%
Πυρηνική ιατρική	2	1,43%
Πυρηνική Ιατρική	1	0,71%
CT MRI	1	0,71%
MRI σε Κεντρικό νευρικό σύστημα, μυοσκελετικό, πεπτικό	1	0,71%
Σύνολο	140	100,00%

Πίνακας 2. Δημογραφικά χαρακτηριστικά δείγματος – πίνακας συχνότητων

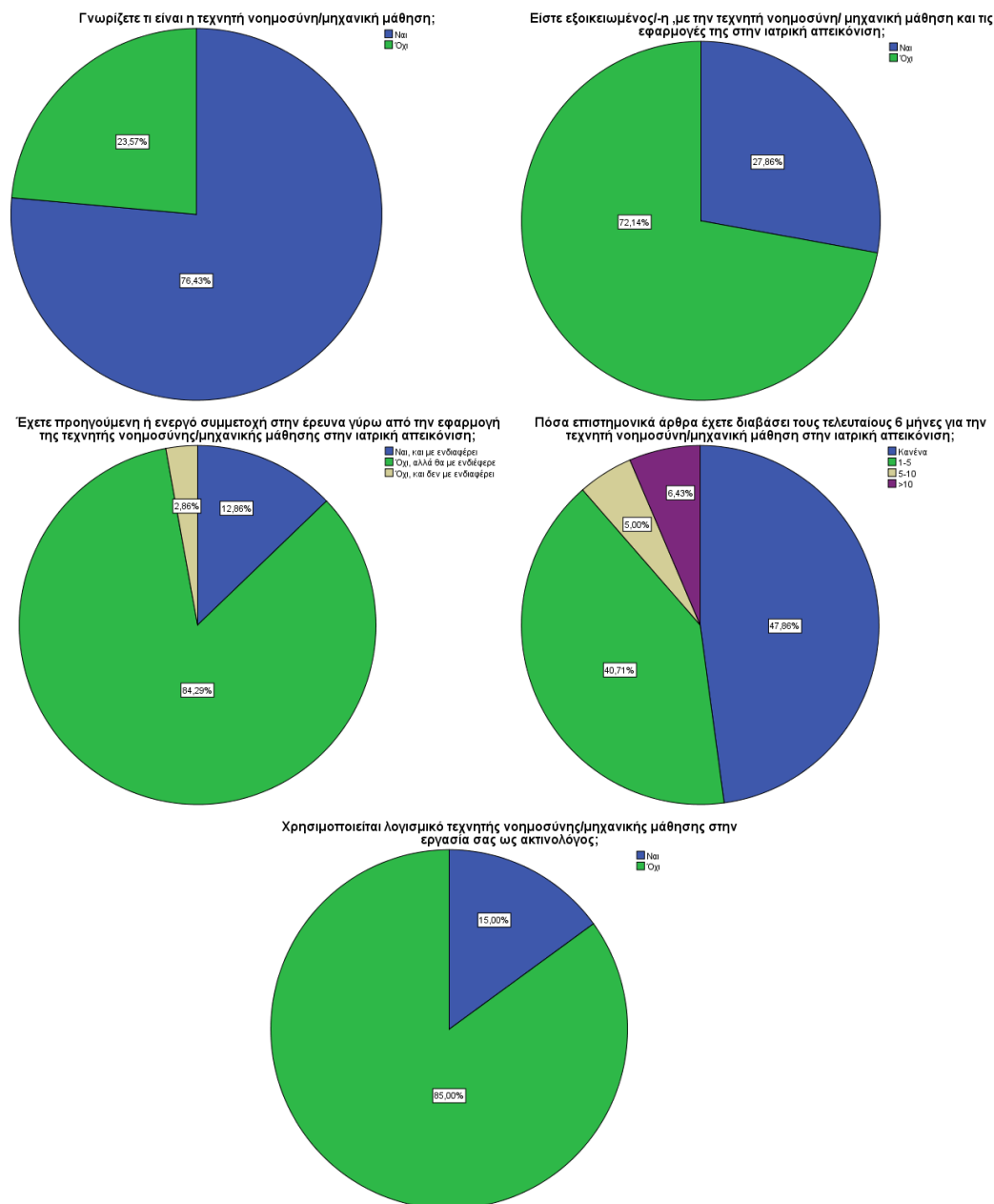
Στην Εικόνα 1 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα ραβδογράμματα και τα κυκλικά διαγράμματα σχετικών συχνότητων επί τις % για το σύνολο των παραπάνω δημογραφικών χαρακτηριστικών.

ή ενεργό συμμετοχής στην έρευνα γύρω από την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ιατρική απεικόνιση, ενώ όσον αφορά το διάβασμα επιστημονικών άρθρων τους τελευταίους 6 μήνες γύρω από αυτό το θέμα το 47.86% και το 40.71% δήλωσε τις επιλογές «Κανένα» και «1-5» αντίστοιχα. Τέλος, σχετικά με την χρήση λογισμικού μηχανικής μάθησης στην εργασία τους ως ακτινολόγος το 85% αποκρίθηκε αρνητικά. Τα δεδομένα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

		N	N%
Γνωρίζετε τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση;	Ναι	107	76,43%
	Όχι	33	23,57%
	Σύνολο	140	100,00%
Είστε εξοικειωμένος/-η ,με την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση και τις εφαρμογές της στην ιατρική απεικόνιση;	Ναι	39	27,86%
	Όχι	101	72,14%
	Σύνολο	140	100,00%
Έχετε προηγούμενη ή ενεργό συμμετοχή στην έρευνα γύρω από την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ιατρική απεικόνιση;	Ναι, και με ενδιαφέρει	18	12,86%
	Όχι, αλλά θα με ενδιέφερε	118	84,29%
	Όχι, και δεν με ενδιαφέρει	4	2,86%
	Σύνολο	140	100,00%
Πόσα επιστημονικά άρθρα έχετε διαβάσει τους τελευταίους 6 μήνες για την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στην ιατρική απεικόνιση;	Κανένα	67	47,86%
	1-5	57	40,71%
	5-10	7	5,00%
	>10	9	6,43%
	Σύνολο	140	100,00%
Χρησιμοποιείται λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην εργασία σας ως ακτινολόγος;	Ναι	21	15,00%
	Όχι	119	85,00%
	Σύνολο	140	100,00%

Πίνακας 3. Πίνακας συχνοτήτων - Επίπεδο γνώσεων των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων για τη τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα κυκλικά διαγράμματα σχετικών συχνοτήτων επί τις % για το σύνολο των μεταβλητών που διερευνούν το επίπεδο γνώσεων των τεχνολόγων και ιατρών τεχνολόγων για τη τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση.



Εικόνα 2. Διαγράμματα σχετικών συχνοτήτων επί τις % - Επίπεδο γνώσεων των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων για τη τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση

4.2.3. Επίπεδο γνώσεων των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων για τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία

Αναφορικά με το επίπεδο γνώσεων των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων για τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία, η πλειονότητα με ποσοστό 59.30% πιστεύει ότι θα επηρεαστεί από την επιστήμη αυτή μέσα στα επόμενα 10 χρόνια η «Ακτινολογία μαστού», ενώ ένα εξίσου υψηλό ποσοστό της τάξης του 55.70% δήλωσε τον τομέα «Νευροακτινολογία». Επίσης, σε χαμηλότερα επίπεδα δηλώθηκαν οι επιλογές «Ακτινολογία καρδιαγγειακού συστήματος», «Ακτινολογία μυοσκελετικού συστήματος» και «Ακτινολογία θώρακα» με

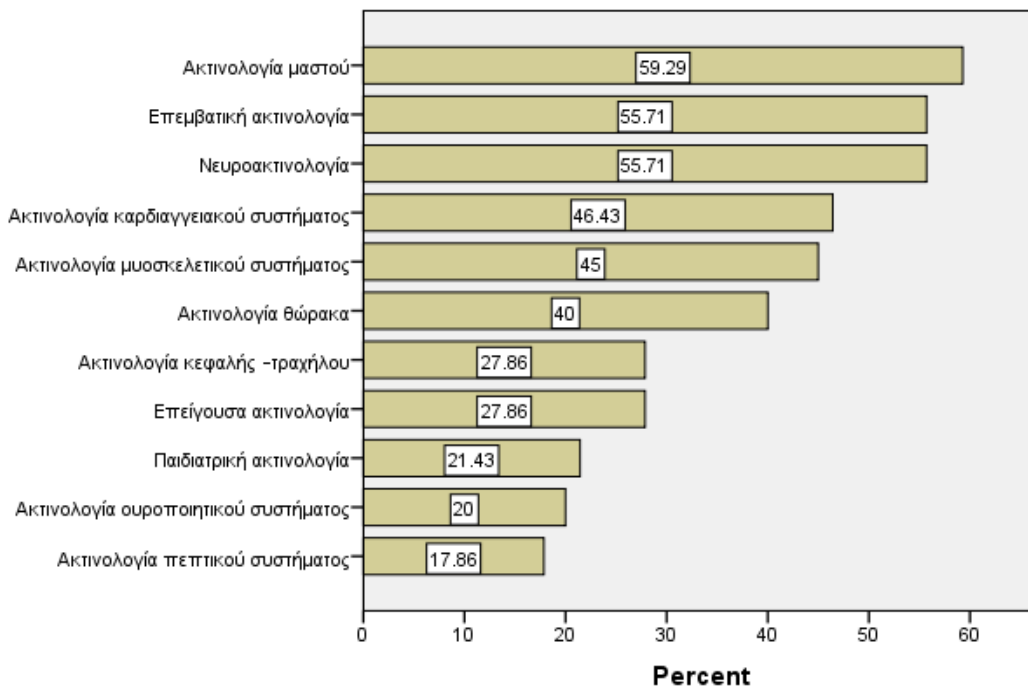
ποσοστά 46.40%, 45% και 40% αντίστοιχα, ενώ με 27.90% δηλώθηκαν έκαστες οι επιλογές «Επείγουσα ακτινολογία» και «Ακτινολογία κεφαλής – τραχήλου». Τέλος, το χαμηλότερο ποσοστό επιρροής της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης που πιστεύουν οι συμμετέχοντες ανήκει στον τομέα «Ακτινολογία πεπτικού συστήματος» με τιμή 17.90%. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

		Responses		Percent
		N	Percent	of Cases
Ποιους από τους παρακάτω επιμέρους τομείς της ακτινολογίας, πιστεύετε ότι θα επηρεάσει η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στα επόμενα δέκα χρόνια;	Ακτινολογία μυοσκελετικού συστήματος	63	10,8%	45,0%
	Ακτινολογία θώρακα	56	9,6%	40,0%
	Ακτινολογία πεπτικού συστήματος	25	4,3%	17,9%
	Νευροακτινολογία	78	13,4%	55,7%
	Ακτινολογία ουροποιητικού συστήματος	28	4,8%	20,0%
	Ακτινολογία καρδιαγγειακού συστήματος	65	11,1%	46,4%
	Παιδιατρική ακτινολογία	30	5,1%	21,4%
	Επεμβατική ακτινολογία	78	13,4%	55,7%
	Επείγουσα ακτινολογία	39	6,7%	27,9%
	Ακτινολογία κεφαλής – τραχήλου	39	6,7%	27,9%
	Ακτινολογία μαστού	83	14,2%	59,3%
Σύνολο		584	100,0%	417,1%

Πίνακας 4. Πίνακας συχνοτήτων - Ποιους από τους παρακάτω επιμέρους τομείς της ακτινολογίας, πιστεύετε ότι θα επηρεάσει η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στα επόμενα δέκα χρόνια;

Η Εικόνα 3 παρουσιάζει το ραβδόγραμμα σχετικών συχνοτήτων επί τις % για τους επιμέρους τομείς της ακτινολογίας που οι συμμετέχοντες πιστεύουν ότι θα επηρεάσει η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση τα επόμενα δέκα χρόνια.

Ποιους από τους παρακάτω επιμέρους τομείς της ακτινολογίας, πιστεύετε ότι θα επηρεάσει η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στα επόμενα δέκα χρόνια;



Εικόνα 3. Ραβδόγραμμα σχετικών συχνοτήτων επί τις % - Ποιους από τους παρακάτω επιμέρους τομείς της ακτινολογίας, πιστεύετε ότι θα επηρεάσει η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στα επόμενα δέκα χρόνια;

4.2.4. Στάσεις για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση

Σχετικά με την διερεύνηση των στάσεων για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση, τα υψηλότερα επίπεδα συμφωνίας παρατηρούνται στις στάσεις «Στο μέλλον, σκοπεύω να ενισχύσω τις γνώσεις μου/εκπαίδευση γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση για τη βελτίωση της απόδοσής μου» (Mean=4.19, Std. Deviation=0.813) και «Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα πρέπει να ενταχθεί στο πρόγραμμα σπουδών των ακτινολόγων» (Mean=4.12, Std. Deviation=0.877) με το 85% και το 83.50% να δηλώνει απαντήσεις στο εύρος «Συμφωνώ»-«Συμφωνώ απόλυτα». Ακόμη εξίσου υψηλά ποσοστά συμφωνίας παρατηρήθηκαν στις στάσεις «Στο μέλλον, θα επιθυμούσα να ασχοληθώ με την έρευνα γύρω από τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία» (Mean=3.95, Std. Deviation=0.932) και «Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα αλλάξει δραστικά και θα φέρει επανάσταση στην ακτινολογία σε 10 χρόνια» (Mean=3.95, Std. Deviation=0.924) με το 71.42% και το 76.43% αντίστοιχα να δηλώνει απαντήσεις στο εύρος «Συμφωνώ»-«Συμφωνώ απόλυτα». Τέλος, τα χαμηλότερα επίπεδα

συμφωνίας παρατηρήθηκαν στην επιλογή «*Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα απαρχαιώσει την εργασία μου/θα αντικαταστήσει τους ακτινολόγους*» (Mean=2.51, Std. Deviation=1.089) όπου το 55% δήλωσε απαντήσεις στο εύρος «Διαφωνώ»-«Διαφωνώ απόλυτα», ενώ το 27.14% δήλωσε μεμονωμένα την επιλογή «Ουδέτερος/-η». Τα δεδομένα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

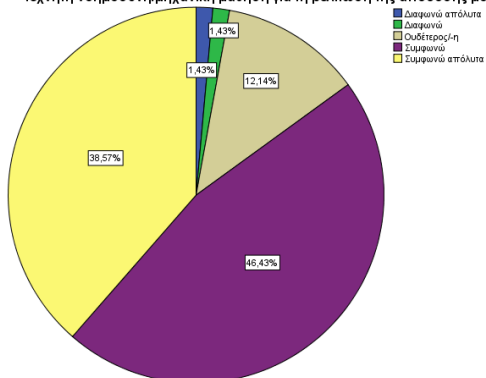
	Διαφωνώ				Ουδέτερος/-				Συμφωνώ					
	απόλυτα		Διαφωνώ		η		Συμφωνώ		απόλυτα		Σύνολο			
	N	N%	N	N%	N	N%	N	N%	N	N%	Mean	Deviation	Standard	
Στο μέλλον, σκοπεύω να ενισχύσω τις γνώσεις μου/εκπαίδευση γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση για τη βελτίωση της απόδοσης μου	2	1,43%	2	1,43%	17	12,14%	65	46,43%	54	38,57%	4,19			,813
Στο μέλλον, θα επιθυμούσα να ασχοληθώ με την έρευνα γύρω από τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης / μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία	4	2,86%	2	1,43%	34	24,29%	57	40,71%	43	30,71%	3,95			,932
Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα απαρχαιώσει την εργασία μου/θα αντικαταστήσει τους ακτινολόγους	24	17,14%	53	37,86%	38	27,14%	17	12,14%	8	5,71%	2,51			1,089

Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα αλλάξει δραστικά και θα φέρει επανάσταση στην ακτινολογία σε 10 χρόνια	4	2,86%	5	3,57%	24	17,14%	68	48,57%	39	27,86%	3,95	,924
Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα πρέπει να ενταχθεί στο πρόγραμμα σπουδών των ακτινολόγων	3	2,14%	4	2,86%	16	11,43%	67	47,86%	50	35,71%	4,12	,877
Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα αυξήσει τις ευκαιρίες απασχόλησης για τους ακτινολόγους	7	5,00%	18	12,86%	50	35,71%	47	33,57%	18	12,86%	3,36	1,026
Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα μειώσει τον φόρτο εργασίας των ακτινολόγων	6	4,29%	10	7,14%	38	27,14%	66	47,14%	20	14,29%	3,60	,966
Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα καταστήσει το προφίλ του ακτινολόγου πιο τεχνικό	8	5,71%	18	12,86%	54	38,57%	46	32,86%	14	10,00%	3,29	1,006
Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα αλλάξει τη σχέση μεταξύ του ακτινολόγου και του ασθενούς	20	14,29%	18	12,86%	36	25,71%	50	35,71%	16	11,43%	3,17	1,223

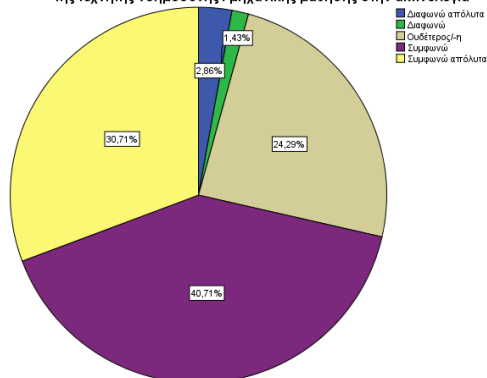
Πίνακας 5. Πίνακας συχνοτήτων και περιγραφικών μέτρων -Στάσεις για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα κυκλικά διαγράμματα σχετικών συχνοτήτων επί τις % για το σύνολο των στάσεων για την τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση που αναλύθηκαν στον προηγούμενο πίνακα συχνοτήτων.

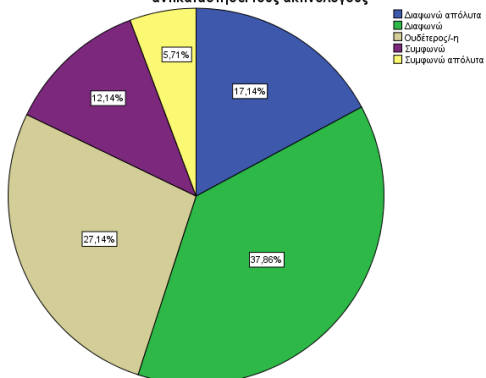
Στο μέλλον, σκοπεύω να ενισχύσω τις γνώσεις μου/εκπαίδευση γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση για τη βελτίωση της απόδοσής μου



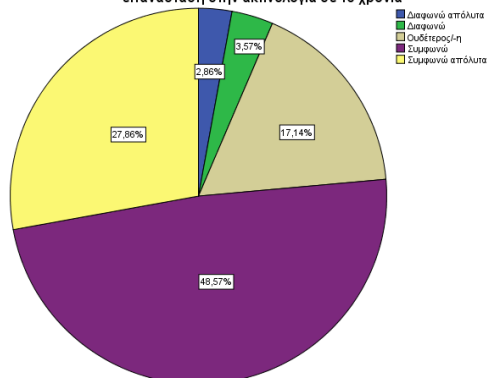
Στο μέλλον, θα επιθυμούσα να ασχοληθώ με την έρευνα γύρω από τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης / μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία



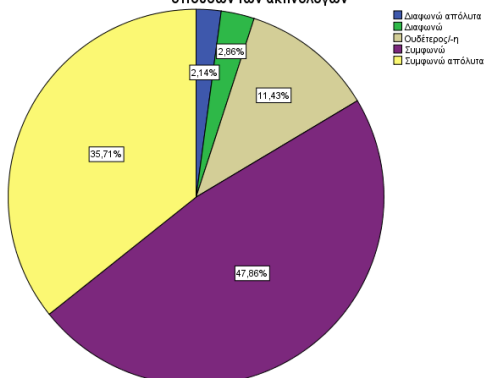
Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα απαρχαιώσει την εργασία μου/ θα αντικαταστήσει τους ακτινολόγους



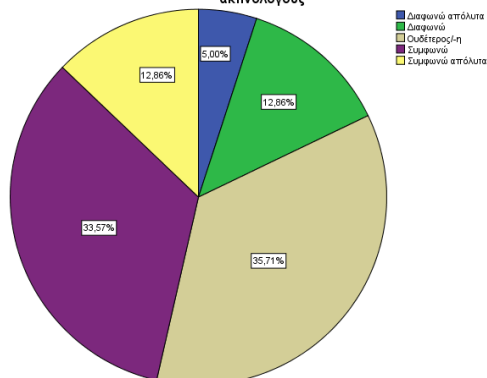
Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα αλλάξει δραστικά και θα φέρει επανάσταση στην ακτινολογία σε 10 χρόνια

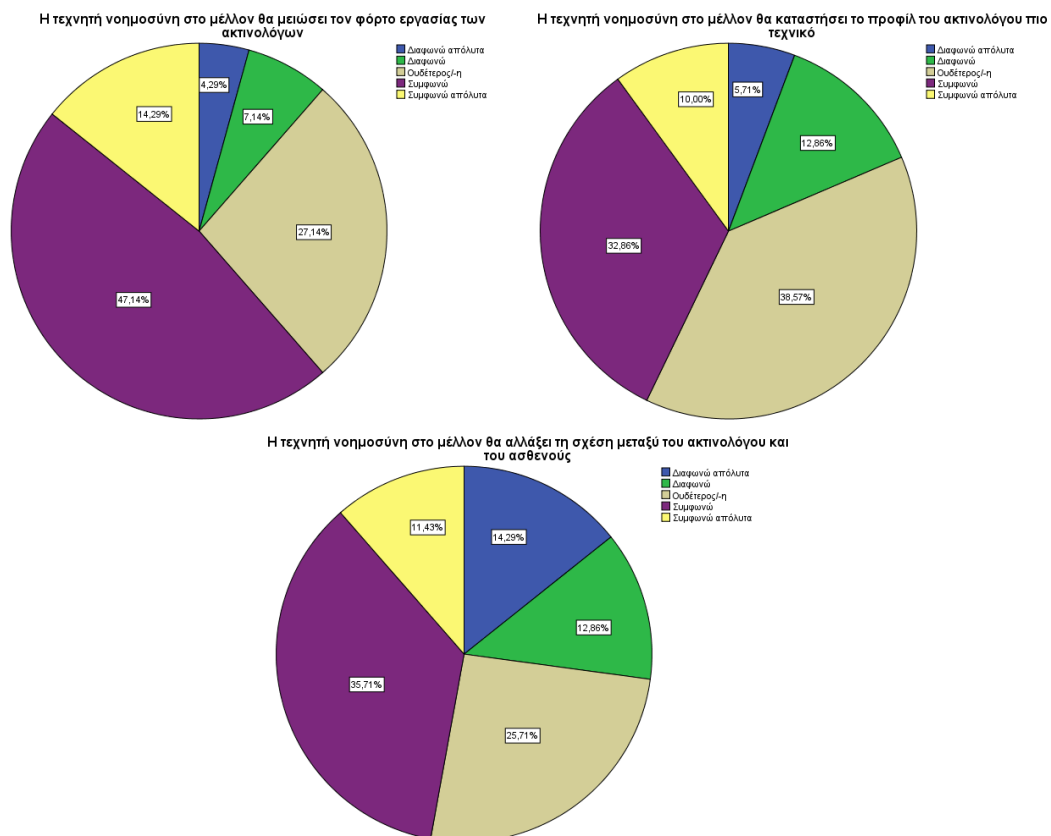


Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα πρέπει να ενταχθεί στο πρόγραμμα σπουδών των ακτινολόγων



Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα αυξήσει τις ευκαιρίες απασχόλησης για τους ακτινολόγους





Εικόνα 4. Διαγράμματα σχετικών συχνοτήτων επί τις % - Στάσεις για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση

Κεφάλαιο 5^ο: Συζήτηση – Συμπεράσματα

5.1. Συζήτηση αποτελεσμάτων

Η παρούσα εργασία μελέτησε τις γνώσεις και τις στάσεις των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων για την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση και τις εφαρμογές της στην ακτινολογία. Η τεχνητή νοημοσύνη αποτελεί κλάδο της επιστήμης των υπολογιστών, για την ανάπτυξη συστημάτων για την εκτέλεση εργασιών που συνήθως απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη. Η μηχανική μάθηση είναι ένα επιμέρους πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης, όπου ένα σύνολο τεχνικών έχουν αναπτυχθεί για την εκπαίδευση αλγορίθμων εκτέλεσης εργασιών εξαγωγής προτύπων ή μοτίβων από μεγάλα σύνολα δεδομένων (Murphy & Liszewski, 2019). Τα τελευταία χρόνια μελετάται όλο και περισσότερο πως η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση έχει εφαρμογές στην ακτινολογία σε θέματα διάγνωσης και θεραπείας (Hosny et al., 2018), ωστόσο αυτός ο τομέας μελέτης είναι νέος, με την πρακτική εφαρμογή σχετικών συστημάτων να περιορίζεται σημαντικά στις περισσότερες χώρες του κόσμου (Waymel et al., 2019).

Λαμβάνοντας υπόψη τις ραγδαίες εξελίξεις στην ακτινολογία που προκαλούνται από την ανάπτυξη εφαρμογών και λογισμικού τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, προβλέπεται ότι στο μέλλον αυτές οι εφαρμογές θα αλλάζουν σε σημαντικό βαθμό τις πρακτικές του κλάδου, οδηγώντας σε αυτοματοποίηση κάποιων διαδικασιών ρουτίνας και βελτιώνοντας την ακρίβεια διαγνωστικών και θεραπευτικών διαδικασιών. Οι ιατροί και τεχνολόγοι ακτινολόγοι είναι οι μελλοντικοί χρήστες της νέας αυτής τεχνολογίας και οι κυρίως υπεύθυνοι για την ασφάλεια των ασθενών και οι γνώσεις και στάσεις τους για την τεχνητή νοημοσύνη και τις εφαρμογές της, θα επηρεάσουν το επίπεδο υιοθέτησης της στο μέλλον στον κλάδο της ακτινολογίας. Συνεπώς, η διερεύνηση των απόψεών τους πάνω σε σχετικά ζητήματα είναι κρίσιμη.

Το δείγμα της παρούσας έρευνας αποτελείται από 140 άτομα, ενώ ως προς τα χαρακτηριστικά του αποτελείται σε μεγαλύτερο μέρος από γυναίκες και εργαζόμενους σε ιδιωτικές κλινικές και δημόσια πανεπιστημιακά ή περιφερειακά νοσοκομεία της Ελλάδας. Ως προς τα έτη προϋπηρεσίας 1 στους 2 δήλωσαν περισσότερα από 12 έτη, ενώ ως προς τον υποτομέα πρακτικής παρατηρείται μεγάλη

διακύμανση, με περίπου 1 στους 3 να ειδικεύονται στον τομέα της ακτινολογίας του μυοσκελετικού συστήματος. Επίσης, η πλειοψηφία του δείγματος, ήταν τεχνολόγοι ακτινολόγοι, με μικρή συμμετοχή ιατρών ακτινολόγων. Παρατηρείται επίσης μεγάλη διακύμανση ως προς την περιοχή/πόλη εργασίας, με το δείγμα να εργάζεται σε ένα μεγάλο εύρος πόλεων της Ελλάδας. Ως εκ τούτου η παρούσα έρευνα αφορά ένα πανελλαδικό δείγμα τεχνολόγων ακτινολόγων, ωστόσο η αντιπροσωπευτικότητα του δεν είναι γνωστή. Δεδομένων των περιορισμών στις διαδικασίες συλλογής των απαντήσεων (η έρευνα έγινε ηλεκτρονικά) δεν ήταν δυνατή η επιλογή ενός τυχαίου δείγματος.

Αναφορικά με το πρώτο ερευνητικό ερώτημα, δηλαδή το επίπεδο γνώσεων των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση, προέκυψε ότι ένα μεγάλο ποσοστό του δείγματος (σχεδόν 4 στους 5) γνώριζαν τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση. Παρ' όλα αυτά ένα μεγάλο μέρος του δείγματος (σχεδόν 2 στους 3) δήλωσε ότι δεν ήταν εξοικειωμένοι με την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση και τις εφαρμογές της στην ιατρική απεικόνιση.

Παρόμοια ευρήματα ως προς το επίπεδο γνώσεων και εξοικείωσης με την τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση έχουν αναφερθεί και σε προηγούμενες μελέτες. Για παράδειγμα, στην έρευνα των Collado –Mesa et al., (2018), ενώ το 90% των ακτινολόγων είχαν ακούσει για την τεχνητή νοημοσύνη, μόνο το 50% δήλωσαν εξοικειωμένοι με την ανάλυση μεγάλων δεδομένων. Στην έρευνα της Lippert (2020), μόνο το 55% των ακτινολόγων αποκρίθηκαν ορθά, όταν τους ζητήθηκε να ορίσουν τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη, ενώ στη μελέτη των Abuzaid et al., (2020) μόνο 1 στους 3 ακτινολόγους δήλωσαν πως ήταν εξοικειωμένοι με τις βασικές γνώσεις της τεχνητής νοημοσύνης, με παρόμοιο ποσοστό να αναφέρεται και στην έρευνα των van Wijngaarden et al., (2020). Ως προς την εξοικείωση με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στην ιατρική απεικόνιση καταγράφονται παρόμοια αποτελέσματα σε άλλες διεθνείς έρευνες. Στη μελέτη των Ooi et al. (2019), λιγότεροι από 1 στους 5 ακτινολόγους θεώρησαν ότι ήταν εξοικειωμένοι και πρακτικά με την τεχνητή νοημοσύνη και τις εφαρμογές της στην ιατρική απεικόνιση, ενώ στην έρευνα των Tajaldeen & Alghamdi (2020), το ποσοστό αυτό ήταν αρκετά μικρότερο (1 στους 10).

Σε ότι αφορά την προηγούμενη ή ενεργό συμμετοχή στην έρευνα γύρω από την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ιατρική απεικόνιση,

μόνο το 1/5 του δείγματος αποκρίθηκε θετικά, με παρόμοιο ποσοστό να δηλώνει ότι χρησιμοποιεί λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην εργασία του ως ακτινολόγος. Παρ' όλα αυτά η συντριπτική πλειοψηφία του δείγματος, αν και δήλωσε ότι δεν έχει συμμετοχή στην έρευνα, θα τους ενδιέφερε (περισσότεροι από 4 στους 5). Το ποσοστό που δήλωσε ενδιαφέρον είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που καταγράφηκε στην έρευνα των Ooi et al. (2018), η οποία έγινε σε δείγμα ακτινολόγων στη Σιγκαπούρη (2 στους 3). Η χρήση εφαρμογών ή λογισμικού τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην εργασία ως ακτινολόγου καταγράφεται επίσης σε χαμηλά επίπεδα σε άλλες έρευνες (Collado – Mesa et al., 2018; Wijngaarden et al., 2020).

Σε ότι αφορά την ανάγνωση επιστημονικών άρθρων για την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στην ιατρική απεικόνιση κατά τους τελευταίους έξι μήνες, στην παρούσα έρευνα, το 40,7% του δείγματος δήλωσε πως έχει διαβάσει 1-5 επιστημονικά άρθρα και σχεδόν 1 στους 2 δήλωσαν πως δεν είχαν διαβάσει κανένα. Αντίστοιχα, το ποσοστό αυτών που είχαν διαβάσει 1-5 επιστημονικά άρθρα στην έρευνα των Ooi et al. (2018) ήταν μεγαλύτερο (56 %). Επίσης, στη μελέτη των Tajaldeen & Alghamdi (2020) 1 στους 4 συμμετέχοντες ανέφεραν ότι έχουν διαβάσει περισσότερα από τέσσερα άρθρα σχετικά με το θέμα της τεχνητής νοημοσύνης στη διαγνωστική ακτινολογία τους τελευταίους 12 μήνες, αν και η πλειοψηφία (2 στους 3) ανέφεραν ότι δεν είχαν διαβάσει επιστημονικά ιατρικά άρθρα σχετικά με το ίδιο θέμα για την ίδια περίοδο.

Στην παρούσα έρευνα, όταν οι συμμετέχοντες ερωτήθηκαν για τους υποτομείς πρακτικής, τους οποίους πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα επηρεάσει περισσότερο στο μέλλον, αυτοί που αναφέρθηκαν συχνότερα ήταν η ακτινολογία μαστού (σχεδόν 2 στους 3), η νευροακτινολογία (σχεδόν 1 στους 2), η ακτινολογία του καρδιαγγειακού συστήματος (σχεδόν 1 στους 2) και του μυοσκελετικού συστήματος (σχεδόν 1 στους 2) συστήματος, καθώς και του θώρακα (σχεδόν 1 στους 2). Από την άλλη πλευρά, υποτομείς πρακτικής που οι συμμετέχοντες τεχνολόγοι ακτινολόγοι δήλωσαν λιγότερο συχνά ότι αναμένουν να επηρεαστούν από την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση ήταν η ακτινολογία του πεπτικού συστήματος (σχεδόν 1 στους 5), του ουροποιητικού συστήματος (1 στους 5) και η παιδιατρική ακτινολογία (1 στους 5). Στη μελέτη της ESR (2019), 1 στους 3 συμμετέχοντες ακτινολόγους από ευρωπαϊκό δείγμα, πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα έχει αντίκτυπο στο μέλλον στους τομείς της ογκολογικής

ακτινολογίας, της ακτινολογίας του μυοσκελετικού συστήματος, της νευροακτινολογίας και της ακτινολογίας μαστού. Ωστόσο ο τομέας της ογκολογικής ακτινολογίας στην παρούσα έρευνα δηλώθηκε σε αρκετά μικρότερο ποσοστό.

Η μελέτη του επιπέδου γνώσεων των ακτινολόγων για την τεχνητή νοημοσύνη φαίνεται ότι κεντρίζει το ενδιαφέρον των ερευνητών τα τελευταία χρόνια, παράλληλα με την αύξηση των εφαρμογών της εν λόγω τεχνολογίας στην ακτινολογία. Αρκετοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι η αρχική εκπαίδευση των ακτινολόγων θα πρέπει να εμπλουτιστεί με τις βασικές αρχές της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης και ότι τα σχετικά προγράμματα σπουδών θα πρέπει να αναθεωρηθούν, συμπεριλαμβάνοντας τα μέχρι σήμερα γνωστά δεδομένα (Jha & Topol, 2016; Hosny et al., 2018; Tajmir & Alkasab, 2018). Οι Levey και Hessel (1982) είχαν εδώ και αρκετά χρόνια προτείνει ότι η επιστήμη των υπολογιστών πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο μέρος του προγράμματος σπουδών των ακτινολογικών σπουδών.

Καθώς η τεχνητή νοημοσύνη είναι νέα τεχνολογία, οι επαγγελματίες του κλάδου που θα την χρησιμοποιήσουν, θα πρέπει να λάβουν αποφάσεις για τη διάγνωση και τη θεραπεία και συνεπώς θα πρέπει να έχουν γνώση των βασικών αρχών της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης. Χωρίς την κατανόηση των βασικών εννοιών, θα είναι ίσως αμφίβολα τα οφέλη που θα μπορεί να έχει η τεχνητή νοημοσύνη στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης ή τουλάχιστον δεν θα μπορούν να αντιμετωπιστούν επαρκώς οι κίνδυνοι για τους ασθενείς. Για παράδειγμα σύμφωνα με τον Aerts (2018) χωρίς την κατανόηση των βασικών εννοιών της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης, η ικανότητα εντοπισμού ψευδών θετικών και ψευδών αρνητικών αποτελεσμάτων που εξάγονται από τις σχετικές εφαρμογές είναι περιορισμένη, δημιουργώντας τον κίνδυνο λανθασμένης διάγνωσης για τους ασθενείς. Ενώ η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αντικαταστήσει πολλές από τις εργασίες των επαγγελματιών στην ιατρική απεικόνιση, οι ακτινολόγοι θα έχουν τελικά την ευθύνη απέναντι στον ασθενή, και συνεπώς είναι σημαντικό να έχουν επαρκείς γνώσεις (Aerts, 2018). Επιπλέον, πιστεύεται ακράδαντα ότι η γνώση των βασικών αρχών της τεχνητής νοημοσύνης θα ενθαρρύνει τους ακτινολόγους να υιοθετήσουν την τεχνολογία, θα τους καταστήσει καλύτερα προετοιμασμένους και πιο σίγουρους ως προς τη χρήση τέτοιων εργαλείων (Waymel et al., 2019).

Το δεύτερο μέρος του ερωτηματολογίου διερεύνησε τις στάσεις των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων απέναντι στην εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία. Η πλειοψηφία των ακτινολόγων συμφώνησαν ότι στο

μέλλον σκοπεύουν να ενισχύσουν τις γνώσεις τους γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση για τη βελτίωση της απόδοσής τους και πίστευαν ότι ο τομέας της τεχνητής νοημοσύνης πρέπει στο μέλλον να ενταχθεί στο πρόγραμμα σπουδών των ακτινολόγων. Αυτές ήταν και οι δύο δηλώσεις με το μεγαλύτερο επίπεδο συμφωνίας στην συγκεκριμένη ενότητα του ερωτηματολογίου. Οι παραπάνω δηλώσεις δείχνουν ότι σε κάποιο βαθμό οι ακτινολόγοι του δείγματος πιστεύουν πιθανώς ότι ο τομέας της τεχνητής νοημοσύνης θα έχει σημαντική επίδραση στο επάγγελμά τους στο μέλλον και οι ίδιοι επιθυμούν να ακολουθήσουν αυτές τις εξελίξεις, αλλά και ότι οι μελλοντικοί ακτινολόγοι θα πρέπει επίσης να είναι ενημερωμένοι ως προς αυτές.

Τα ευρήματα αυτά είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών. Για παράδειγμα οι Ooi et al., (2018) βρήκαν ότι το 84,8% του δείγματός τους πίστευε ότι η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα έπρεπε να διδάσκεται ως μάθημα σε προπτυχιακά προγράμματα σπουδών, ενώ το 80% πίστευαν ότι αυτές οι γνώσεις για τους νεοεισερχόμενους στο επάγγελμα είναι το ίδιο σημαντικές με άλλους τομείς, όπως η φυσική και οι κλινικές δεξιότητες. Παρ' όλα αυτά, είναι πιθανό ότι λίγα προγράμματα σπουδών σήμερα, έχουν ενσωματώσει γνώσεις σχετικές με την τεχνητή νοημοσύνη. Αυτό προκύπτει από μελέτες, στις οποίες έχει δείχθει ότι οι γνώσεις των ιατρών και τεχνολόγων ακτινολόγων βασίζονται κυρίως στην συμμετοχή τους σε προγράμματα κατάρτισης μετά το πέρας των σπουδών τους, στην διεξαγωγή σχετικών εργασιών στην δουλειά τους και στο προσωπικό τους ενδιαφέρον να διαβάζουν σχετικά επιστημονικά άρθρα (Abuzaid et al., 2020; Weisberg & Fishman, 2020). Προκύπτει επίσης από μελέτες που έχουν διερευνήσει τις γνώσεις φοιτητών ιατρικής και ακτινολογίας για την τεχνητή νοημοσύνη (Dos Santos et al., 2018).

Στη συνέχεια, το μεγαλύτερο επίπεδο συμφωνίας καταγράφηκε για την δήλωση ότι η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα αλλάξει δραστικά και θα φέρει επανάσταση στην ακτινολογία σε 10 χρόνια. Με τη δήλωση αυτή συμφώνησαν περισσότεροι από τα 2/3 του δείγματος των ακτινολόγων της έρευνας. Παρόμοια υψηλά επίπεδα στην ίδια δήλωση αναφέρονται και στις μελέτες των Ooi et al., (2018) και Eltorai et al., (2020). Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι αντίθετα με τα παραπάνω, σε άλλες έρευνες ακτινολόγων, υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με την επίδραση της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία. Για παράδειγμα στην έρευνα της Lippert (2020), το 1/2 των ακτινολόγων που συμμετείχαν δεν ήταν σίγουροι για το αν η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα βελτιώσει την ποιότητα των ακτινολογικών εξετάσεων, ενώ το 1/3 δεν

ήταν σίγουροι για το αν η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα ενισχύσει την ακρίβεια στη διάγνωση και τη θεραπεία στην ακτινολογία. Στη μελέτη των Abuzaid et al., (2020), το 85,6% των συμμετεχόντων ακτινολόγων διαφώνησαν με τη δήλωση ότι η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην ακτινολογία στο μέλλον, ενώ στην έρευνα των Jungmann et al., (2020) το 86% των ακτινολόγων πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα καταστήσει πιο αποτελεσματική την ιατρική επιστήμη.

Σε ότι αφορά τις επιδράσεις που θα έχει η τεχνητή νοημοσύνη στο επάγγελμα του ακτινολόγου, το επίπεδο συμφωνίας μειώνεται. Οι περισσότεροι συμμετέχοντες συμφώνησαν ή ήταν ουδέτεροι σε παρόμοιο ποσοστό ως προς το ότι η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα αυξήσει τις ευκαιρίες απασχόλησης για τους ακτινολόγους, ότι θα καταστήσει το προφίλ του ακτινολόγου πιο τεχνικό και ότι θα αλλάξει τη σχέση μεταξύ ακτινολόγου και ασθενούς. Μεταξύ των προηγούμενων μελετών, τα αποτελέσματα δεν φαίνεται να ακολουθούν μια συγκεκριμένη κατεύθυνση και οι ακτινολόγοι κρατούν ουδέτερες στάσεις. Στη μελέτη της ESR (2019) για παράδειγμα, το 56% πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη θα αυξήσει τις ευκαιρίες εργασίας τους και το 75% ότι θα μειώσει το φόρτο εργασίας τους. Προς το παρόν, όπως αναφέρουν και άλλες μελέτες, δεν υπάρχει συμφωνία για τον τρόπο με τον οποίο η τεχνητή νοημοσύνη θα επηρεάσει την αγορά εργασίας ή το φόρτο εργασίας ή και γενικότερα τις πρακτικές εργασίας των ακτινολόγων, δεδομένης της περιορισμένης εφαρμογής των συστημάτων αυτών στην καθημερινή κλινική πρακτική (ESR, 2019; Waymel et al., 2019), διαπίστωση η οποία υποστηρίζεται και από τα ευρήματα της παρούσας έρευνας.

Τέλος, σε αντίθετη κατεύθυνση παρατηρείται η αξιολόγηση της στάσης σχετικά με την απαρχαίωση της εργασίας των ακτινολόγων εξαιτίας της τεχνητής νοημοσύνης. Ενώ 1 στους 2 συμμετέχοντες διαφώνησαν με την ανωτέρω άποψη, 1 στους 4 δήλωσαν ουδέτεροι και περίπου 1 στους 5 συμφώνησαν με την παραπάνω άποψη. Φαίνεται λοιπόν, ότι υπάρχει μια διάσταση απόψεων στο συγκεκριμένο θέμα. Από τη μια αυτοί που διαφωνούν, ενδεχομένως αναγνωρίζουν ότι στο μέλλον η τεχνητή νοημοσύνη θα έχει όφελος για το επάγγελμά τους, ενώ η ουδετερότητα μπορεί να οφείλεται στην έλλειψη γνώσεων για τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία καθώς και για τα οφέλη της. Τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών, ως προς παρόμοιες δηλώσεις, παρουσιάζουν επίσης ανομοιομορφία, αλλά και σχετικά υψηλά επίπεδα ουδετερότητας. Στην έρευνα των Collado – Mesa et al., (2018) οι

ακτινολόγοι που πίστευαν ότι το επάγγελμά τους θα απαρχαιωθεί ήταν ελάχιστοι καλύπτοντας μόνο το 2% του δείγματος. Στην έρευνα των Ooi et al., (2018), το ποσοστό αυτό ήταν μεγαλύτερο κοντά στο 12%, ενώ το 63,2% διαφώνησαν με το ότι η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα αντικαταστήσει τους ακτινολόγους. Στην έρευνα της Lippert (2020) αυτοί που δήλωσαν ουδέτεροι ήταν το 70%, ποσοστό αρκετά μεγαλύτερο από αυτό που βρέθηκε στην παρούσα έρευνα. Στη μελέτη των Abuzaid et al., (2020) το 64,1% των ακτινολόγων πίστευαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη δεν θα απειλούσε ή θα διαταράζει ορισμένες επαγγελματικές σταδιοδρομίες στον τομέα της ακτινολογίας

Σε γενικές γραμμές, όσο αφορά τις στάσεις των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων για την τεχνητή νοημοσύνη και την εφαρμογή της στον τομέα της ιατρικής απεικόνισης, αυτές συνολικά για το δείγμα που μελετήθηκε φαίνονται ουδέτερες προς θετικές. Οι αρνητικές στάσεις καταγράφονται μόνο σε ένα πολύ μικρό ποσοστό του δείγματος και θα μπορούσαν να προκύπτουν από πολλούς παράγοντες, όπως ο περιορισμένος αριθμός εφαρμογών τεχνητής νοημοσύνης που έχουν δοκιμαστεί σε έρευνες και ακόμα περισσότερο στην καθημερινή κλινική πρακτική, οι ελλείψεις γνώσεις για την τεχνητή νοημοσύνη, η δυσπιστία απέναντι σε μια τεχνολογία που είναι νέα, ή ακόμα και οι λανθασμένες αντιλήψεις για την τεχνητή νοημοσύνη. Αυτές οι εσφαλμένες αντιλήψεις θα μπορούσαν να αποτελούν εμπόδιο στην ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης, τόσο στην ακτινολογική εκπαίδευση, όσο και στην πρακτική της ακτινολογίας (Weisberg & Fishman, 2020). Επιπλέον, η αξιοπιστία της τεχνολογίας στη διάγνωση και τη θεραπεία ορισμένων καταστάσεων αμφισβητείται και αυτό μπορεί επίσης να επηρεάζει τις στάσεις των ακτινολόγων για τη νέα τεχνολογία.

Από την άλλη, οι θετικές στάσεις, θα μπορούσαν να ενισχυθούν από ένα αυξημένο επίπεδο γνώσεων στην τεχνητή νοημοσύνη και τη μηχανική μάθηση ή από την ενεργό συμμετοχή στην έρευνα ή και από τα θετικά αποτελέσματα της τεχνητής νοημοσύνης που μέχρι σήμερα έχει να επιδείξει η σχετική έρευνα. Επίσης, όσοι έχουν κάνει χρήση σχετικών εφαρμογών θα μπορούσαν να έχουν διατυπώσει πιο θετικές στάσεις. Αυτή η ομάδα ακτινολόγων είναι πιο πιθανό στο μέλλον να «αγκαλιάσει» τη νέα τεχνολογία στο μέλλον. Άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης θα μπορούσαν καλύτερα να λειτουργήσουν ως ένα σύστημα δεύτερης γνώμης και να υποστηρίξουν το έργο των ακτινολόγων, αντί να το αντικαταστήσουν, όπου είναι και πιο πιθανό αυτό να συμβεί στο μέλλον.

5.2. Συμπεράσματα

Μελετώντας τις γνώσεις και τις στάσεις των τεχνολόγων και ιατρών ακτινολόγων στην Ελλάδα, για την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση και τις εφαρμογές στην ιατρική απεικόνιση, η παρούσα έρευνα καταλήγει σε σημαντικά συμπεράσματα. Πρώτον το επίπεδο γνώσεων του δείγματος, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι καταγράφεται σε μέτρια επίπεδα και ενδεχομένως σε μέτρια προς χαμηλά επίπεδα. Ενώ πολλοί τεχνολόγοι και ιατροί ακτινολόγοι ανέφεραν ότι γνώριζαν τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση, πολλοί λίγοι δήλωσαν ότι ήταν εξοικειωμένοι με τις εφαρμογές της στην ιατρική απεικόνιση, ότι είχαν συμμετάσχει στην έρευνα γύρω από την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ιατρική απεικόνιση και ότι είχαν χρησιμοποιήσει λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην εργασία τους. Παρ' όλα αυτά φάνηκε να υπήρχε ενδιαφέρον για τις εφαρμογές αυτές αφού ένα μεγαλύτερο μέρος του δείγματος δήλωσε πως είχαν διαβάσει επιστημονικά άρθρα για σχετικά θέματα και ότι θα τους ενδιέφερε στο μέλλον να συμμετέχουν ενεργά στην επιστημονική έρευνα.

Παρά το χαμηλό επίπεδο γνώσεων, οι περισσότεροι τεχνολόγοι και ιατροί ακτινολόγοι στην Ελλάδα είχαν ουδέτερες προς θετικές στάσεις για την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ιατρική απεικόνιση. Πολλοί από αυτούς δήλωσαν πως σκοπεύουν στο μέλλον να ενισχύσουν τις γνώσεις τους γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση για τη βελτίωση της απόδοσής τους, θεωρούσαν ότι η τεχνητή νοημοσύνη πρέπει να ενταχθεί στο πρόγραμμα σπουδών των ακτινολόγων και θεωρούσαν ότι θα αλλάξει δραστικά τον τομέα της ακτινολογίας στην επόμενη δεκαετία. Παρ' όλα αυτά ήταν λιγότερο βέβαιοι σχετικά με την επίδραση της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στο επάγγελμά τους σε θέματα όπως το αν αυξήσει τις ευκαιρίες απασχόλησης για τους ακτινολόγους, αν θα καταστήσει το προφίλ του ακτινολόγου πιο τεχνικό, αν θα αλλάξει τη σχέση μεταξύ ακτινολόγου και ασθενούς και αν θα απαρχαιώσει την εργασία των ακτινολόγων.

Καθώς οι εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης αυξάνονται στον τομέα της τεχνολογίας, είναι σημαντικό να γίνει και μεγαλύτερη έρευνα ως προς τα οφέλη που έχουν τα σχετικά λογισμικά και εφαρμογές στην ακτινολογία. Υπάρχει ανάγκη επίσης, οι τρέχουσες γνώσεις και πρακτικές να ενσωματωθούν στα προγράμματα σπουδών των ιατρών και τεχνολόγων ακτινολόγων, ώστε να αυξηθεί το

επίπεδο γνώσεων τους γύρω από τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης στην ακτινολογία και να ενθαρρυνθεί έτσι η συμμετοχή τους στην επιστημονική έρευνα. Η εισαγωγή σχετικών μαθημάτων στα προγράμματα σπουδών της ιατρικής και της ακτινολογίας θα μπορούσε να βοηθήσει στην εξάλειψη εσφαλμένων αντιλήψεων για τον ρόλο της τεχνητής νοημοσύνης στην ιατρική απεικόνιση, στην εξάλειψη αμφιβολιών για τα οφέλη και τον τρόπο χρήσης των σχετικών εφαρμογών, και στην καλύτερη κατανόηση του πως οι μελλοντικοί ιατροί και τεχνολόγοι ακτινολόγοι μπορούν να υιοθετήσουν την νέα τεχνολογία προς όφελος τους ή υποστηρικτικά στις αποφάσεις θεραπείας που λαμβάνουν για τους ασθενείς τους. Καθώς οι εφαρμογές αναπτύσσονται, αναθεωρούνται και βελτιώνονται συνεχώς, είναι απαραίτητο, το περιεχόμενο αυτών των μαθημάτων να αναθεωρείται σε τακτική βάση.

5.3. Περιορισμοί και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα έρευνα έχει κάποιους περιορισμούς, οι οποίοι είναι σημαντικό να αναφερθούν. Αρχικά υπάρχουν περιορισμοί ως προς το δείγμα της έρευνας, αφού υπάρχει ανισοκατανομή σε κάποια δημογραφικά στοιχεία, όπως το φύλο και ο υποτομέας πρακτικής των συμμετεχόντων. Αυτό θα μπορούσε να έχει επηρεάσει τα αποτελέσματα της μελέτης, καθώς για παράδειγμα κάποιες προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει ότι οι γυναίκες δηλώνουν μικρότερο προθυμία να επιδιώξουν να εξειδικευτούν πάνω στην τεχνητή νοημοσύνη και τις εφαρμογές της στην ακτινολογία σε σύγκριση με τους άνδρες, και επίσης ότι οι γυναίκες είναι περισσότερο πιθανό να θεωρήσουν τους εαυτούς τους ως αρχάριους στις γνώσεις για την τεχνητή νοημοσύνη γενικά (Ooi et al., 2018).

Δεύτερον, το μεγαλύτερο μέρος του δείγματος αποτελείται από τεχνολόγους ακτινολόγους και σε πολύ μικρό ποσοστό ιατρούς ακτινολόγους. Ως εκ τούτου τα αποτελέσματα της έρευνας ως προς τις γνώσεις και τις στάσεις για την τεχνητή νοημοσύνη στην ακτινολογία, θα μπορούσαν να είναι γενικεύσιμα μόνο στον πληθυσμό των τεχνολόγων ακτινολόγων. Παρ' όλα αυτά η γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων περιορίζεται ούτως ή άλλως, από την έλλειψη αντιπροσωπευτικότητας του δείγματος. Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι αυτός ο περιορισμός ήταν αναπόφευκτος από την αρχή της έρευνας, μιας και οι περιορισμοί στις μετακινήσεις των πολιτών στην Ελλάδα κατά την περίοδο της διεξαγωγής της, δεν επέτρεψε την διεξαγωγή της έρευνας με φυσική διανομή των ερωτηματολογίων, χωρίς να δοθεί στην ερευνήτρια η δυνατότητα της επιλογής ενός

τυχαίου δείγματος. Παρά τους περιορισμούς αυτούς, η μελέτη αυτή είναι η πρώτη που γίνεται στην Ελλάδα, παρέχοντας μια εικόνα γύρω από το επίπεδο γνώσεων και τις στάσεις των ακτινολόγων για την τεχνητή νοημοσύνη στον κλάδο τους.

Ο τρίτος περιορισμός είναι ότι η σύγκριση των αποτελεσμάτων της έρευνας, στην ενότητα της συζήτησης, έγινε μόνο με αποτελέσματα διεθνών μελετών, καθώς δεν εντοπίστηκαν άλλες σχετικές ελληνικές μελέτες. Αυτές οι έρευνες έγιναν σε πολλές και διαφορετικές χώρες του κόσμου, με διαφορετική σύσταση δειγμάτων, αλλά και διαφορετικά εργαλεία συλλογής δεδομένων. Αυτές οι διαφορές πιθανώς είναι και ο λόγος των διαφορετικών αποτελεσμάτων που βρέθηκαν στην παρούσα έρευνα σε σχέση με άλλες μελέτες σε διεθνή δείγματα ακτινολόγων.

Καθώς το μεγαλύτερο μέρος της τρέχουσας έρευνας επικεντρώνεται στις πρακτικές εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ιατρική απεικόνιση, ώστε να μελετηθεί πως αυτή η τεχνολογική εφαρμογή μπορεί να ωφελήσει τη θεραπεία και τη διάγνωση ασθενειών, έχει δοθεί λιγότερη σημασία στον τρόπο με τον οποίο αυτές οι νέες τεχνολογικές εφαρμογές θα επιφέρουν αλλαγές στην πρακτική του επαγγέλματος του ακτινολόγου, αλλά και στον τρόπο με τον οποίο οι επαγγελματίες του τομέα της ιατρικής απεικόνισης θα υποδεχθούν και θα αγκαλιάσουν τη νέα τεχνολογία. Συνεπώς η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να εστιάσει και στα παραπάνω θέματα. Η μελέτη των αντιλήψεων, των απόψεων, αλλά και των στάσεων των ιατρών και τεχνολόγων ακτινολόγων θα πρέπει να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικών ερευνών, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό.

Βιβλιογραφία

- ❖ Abajian, A., Murali, N., Savic, L. J., Laage-Gaupp, F. M., Nezami, N., Duncan, J. S., ...& Chapiro, J. (2018). Predicting treatment response to intra-arterial therapies for hepatocellular carcinoma with the use of supervised machine learning—an artificial intelligence concept. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*, 29(6), 850-857.
- ❖ Abuzaid, M. M., Elshami, W., Tekin, H., & Issa, B. (2020). Assessment of the Willingness of Radiologists and Radiographers to Accept the Integration of Artificial Intelligence Into Radiology Practice. *Academic Radiology*.
- ❖ Aerts, H. J. (2018). Data science in radiology: a path forward. *Clinical Cancer Research*, 24(3), 532-534.
- ❖ Aggarwal, C. C. (2018). An Introduction to Neural Networks. *Neural Networks and Deep Learning*, 1–52.
- ❖ Allen, M. (2017). *The SAGE encyclopedia of communication research methods* (Vols. 1-4). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc.
- ❖ Brady, A. P., & Neri, E. (2020). Artificial intelligence in radiology—ethical considerations. *Diagnostics*, 10(4), 231.
- ❖ Chassagnon, G., Vakalopoulou, M., Paragios, N., & Revel, M. P. (2020). Artificial intelligence applications for thoracic imaging. *European journal of radiology*, 123, 108774.
- ❖ Chellam, W. B. (2016). Missed subtle fractures on the trauma-meeting digital projector. *Injury*, 47(3), 674-676.
- ❖ Choy, G., Khalilzadeh, O., Michalski, M., Do, S., Samir, A. E., Pianykh, O. S. & Dreyer, K. J. (2018). Current applications and future impact of machine learning in radiology. *Radiology*, 288(2), 318-328.
- ❖ Coghlan, D., Brydon-Miller, M. (2014). *The SAGE encyclopedia of action research* (Vols. 1-2). London, : SAGE Publications Ltd.

- ❖ Collado-Mesa, F., Alvarez, E., & Arheart, K. (2018). The role of artificial intelligence in diagnostic radiology: a survey at a single radiology residency training program. *Journal of the American College of Radiology*, 15(12), 1753-1757.
- ❖ Coppola, F., Faggioni, L., Regge, D., Giovagnoni, A., Golfieri, R., Bibbolino, C. & Grassi, R. (2021). Artificial intelligence: radiologists' expectations and opinions gleaned from a nationwide online survey. *La radiologia medica*, 126(1), 63-71.
- ❖ Davenport, T. H., & Dreyer, K. J. (2018). AI will change radiology, but it won't replace radiologists. *Harvard Business Review*, 1-5.
- ❖ Dos Santos, D. P., Giese, D., Brodehl, S., Chon, S. H., Staab, W., Kleinert, R. & Baeßler, B. (2019). Medical students' attitude towards artificial intelligence: a multicentre survey. *European radiology*, 29(4), 1640-1646.
- ❖ El Naqa, I., Haider, M. A., Giger, M. L., & Ten Haken, R. K. (2020). Artificial Intelligence: reshaping the practice of radiological sciences in the 21st century. *The British journal of radiology*, 93(1106), 20190855.
- ❖ Eltorai, A. E., Bratt, A. K., & Guo, H. H. (2020). Thoracic radiologists' versus computer scientists' perspectives on the future of artificial intelligence in radiology. *Journal of thoracic imaging*, 35(4), 255-259.
- ❖ Ertel W. (2019). Εισαγωγή στην τεχνητή νοημοσύνη. Αθήνα: Φούντας.
- ❖ Ertel W. (2017) Introduction. In: Introduction to Artificial Intelligence. Undergraduate Topics in Computer Science. Springer, London.
- ❖ European Society of Radiology (ESR) communications@myesr.org Marina Codari Luca Melazzini Sergey P. Morozov Cornelis C. van Kuijk Luca M. Sconfienza Francesco Sardanelli. (2019). Impact of artificial intelligence on radiology: a EuroAIM survey among members of the European Society of Radiology. *Insights into imaging*, 10, 1-11.
- ❖ Flasiński M. (2016) History of Artificial Intelligence. In: Introduction to Artificial Intelligence. Springer, Cham.

- ❖ Gallix, B., & Chong, J. (2019). Artificial intelligence in radiology: who's afraid of the big bad wolf?. *European radiology*, 29(4), 1637-1639.
- ❖ Gohagan, J. K., Prorok, P. C., Hayes, R. B., & Kramer, B. S. (2000). The Prostate, Lung, Colorectal and Ovarian (PLCO) cancer screening trial of the National Cancer Institute: history, organization, and status. *Controlled clinical trials*, 21(6), 251S-272S.
- ❖ Gorelik, N., & Gyftopoulos, S. (2021). Applications of Artificial Intelligence in Musculoskeletal Imaging: From the Request to the Report. *Canadian Association of Radiologists Journal*, 72(1), 45-59.
- ❖ Guarascio, M., Manco, G., & Ritacco, E. (2018). Deep Learning. Reference Module in Life Sciences.
- ❖ Hamet, P., & Tremblay, J. (2017). Artificial intelligence in medicine. *Metabolism*, 69, S36–S40.
- ❖ Hosny, A., Parmar, C., Quackenbush, J., Schwartz, L. H., & Aerts, H. J. (2018). Artificial intelligence in radiology. *Nature Reviews Cancer*, 18(8), 500-510.
- ❖ Hung, K., Montalvao, C., Tanaka, R., Kawai, T., & Bornstein, M. M. (2020). The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology: A systematic review. *Dentomaxillofacial Radiology*, 49(1), 20190107.
- ❖ Iezzi, R., Goldberg, S. N., Merlino, B., Posa, A., Valentini, V., & Manfredi, R. (2019). Artificial intelligence in interventional radiology: a literature review and future perspectives. *Journal of oncology*, 2019.
- ❖ Jalal, S., Nicolaou, S., & Parker, W. (2019). Artificial intelligence, radiology, and the way forward. *Canadian association of radiologists journal*, 70(1), 10-12.
- ❖ Jalalian, A., Mashohor, S. B., Mahmud, H. R., Saripan, M. I. B., Ramli, A. R. B., & Karasfi, B. (2013). Computer-aided detection/diagnosis of breast cancer in mammography and ultrasound: a review. *Clinical imaging*, 37(3), 420-426.

- ❖ Jha, S., & Topol, E. J. (2016). Adapting to artificial intelligence: radiologists and pathologists as information specialists. *Jama*, 316(22), 2353-2354.
- ❖ Jin, D., Harrison, A. P., Zhang, L., Yan, K., Wang, Y., Cai, J., Lu, L. (2021). *Artificial intelligence in radiology. Artificial Intelligence in Medicine*, 265–289.
- ❖ Jungmann, F., Jorg, T., Hahn, F., Dos Santos, D. P., Jungmann, S. M., Düber, C., ... & Kloeckner, R. (2020). Attitudes Toward Artificial Intelligence Among Radiologists, IT Specialists, and Industry. *Academic radiology*.
- ❖ Kim, H. E., Kim, H. H., Han, B. K., Kim, K. H., Han, K., Nam, H., ... & Kim, E. K. (2020). Changes in cancer detection and false-positive recall in mammography using artificial intelligence: a retrospective, multireader study. *The Lancet Digital Health*, 2(3), e138-e148.
- ❖ Krupinski, E. A. (2019). Artificial Intelligence: Lessons Learned from Radiology. *Healthcare Transformation*, 5-10.
- ❖ Letzen, B., Wang, C. J., & Chapiro, J. (2019). The role of artificial intelligence in interventional oncology: a primer. *Journal of vascular and interventional radiology: JVIR*, 30(1), 38-41.
- ❖ Levy, J. M., & Hessel, S. J. (1982). Training in computer sciences for radiologists. *Radiology*, 145(3), 853-853.
- ❖ Li, J., & Qian, J. M. (2020). Artificial intelligence in inflammatory bowel disease: current status and opportunities. *Chinese medical journal*, 133(7), 757.
- ❖ Lippert, K. A. N. (2020). *Artificial Intelligence in Radiology: Promises and Pitfalls. A cross-sectional study of Norwegian radiologists' knowledge and attitudes* (Master's thesis).
- ❖ Liu Q., Wu Y. (2012) Supervised Learning. In: Seel N.M. (eds) Encyclopedia of the Sciences of Learning. Springer, Boston, MA.
- ❖ Lotter, W., Diab, A. R., Haslam, B., Kim, J. G., Grisot, G., Wu, E., & Sorensen, A. G. (2021). Robust breast cancer detection in mammography and

digital breast tomosynthesis using an annotation-efficient deep learning approach. *Nature Medicine*, 1-6.

- ❖ Lotter, W., Sorensen, G., & Cox, D. (2017). A multi-scale CNN and curriculum learning strategy for mammogram classification. In *Deep Learning in Medical Image Analysis and Multimodal Learning for Clinical Decision Support* (pp. 169-177). Springer, Cham.
- ❖ Lui, Y. W., Chang, P. D., Zaharchuk, G., Barboriak, D. P., Flanders, A. E., Wintermark, M., & Filippi, C. G. (2020). Artificial Intelligence in Neuroradiology: Current Status and Future Directions. *American Journal of Neuroradiology*, 41(8), E52-E59.
- ❖ Mahajan, V., Venugopal, V. K., Murugavel, M., & Mahajan, H. (2020). The algorithmic audit: working with vendors to validate radiology-AI algorithms—how we do it. *Academic radiology*, 27(1), 132-135.
- ❖ Marcu, L. G., & Marcu, D. (2021). Points of view on artificial intelligence in medical imaging—one good, one bad, one fuzzy. *Health and Technology*, 11(1), 17-22.
- ❖ McDonald, R. J., Schwartz, K. M., Eckel, L. J., Diehn, F. E., Hunt, C. H., Bartholmai, B. J., ... & Kallmes, D. F. (2015). The effects of changes in utilization and technological advancements of cross-sectional imaging on radiologist workload. *Academic radiology*, 22(9), 1191-1198.
- ❖ Melendez, J., Hogeweg, L., Sánchez, C. I., Philipsen, R. H. H. M., Aldridge, R. W., Hayward, A. C., ... & Story, A. (2018). Accuracy of an automated system for tuberculosis detection on chest radiographs in high-risk screening. *The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease*, 22(5), 567-571.
- ❖ Mitchell, R., Michalski, J., & Carbonell, T. (2013). An artificial intelligence approach. Berlin: Springer.
- ❖ Murphy, A., & Liszewski, B. (2019). Artificial intelligence and the medical radiation profession: how our advocacy must inform future practice. *Journal of medical imaging and radiation sciences*, 50(4), S15-S19.

- ❖ Ooi, S. K. G., Makmur, A., Soon, A. Y. Q., Fook-Chong, S., Liew, C., Sia, S. Y., & Lim, C. Y. (2019). Attitudes toward artificial intelligence in radiology with learner needs assessment within radiology residency programmes: a national multi-programme survey. *Singapore Med J*, 1, 22.
- ❖ Osoba, O. A., & Welser IV, W. (2017). *An intelligence in our image: The risks of bias and errors in artificial intelligence*. Rand Corporation.
- ❖ Pauwels, R., & Chokyu Del Rey, Y. (2020). Attitude of brazilian dentists and dental students regarding the future role of artificial intelligence in oral radiology: a multi-center survey. *Dentomaxillofacial Radiology*, 47, 20200461.
- ❖ Pesapane, F., Codari, M., & Sardanelli, F. (2018). Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *European radiology experimental*, 2(1), 1-10.
- ❖ Ranschaert, E. R., Duerinckx, A. J., Algra, P., Kotter, E., Kortman, H., & Morozov, S. (2019). Advantages, challenges, and risks of artificial intelligence for radiologists. In *Artificial Intelligence in Medical Imaging* (pp. 329-346). Springer, Cham.
- ❖ Rashidi, H. H., Tran, N. K., Betts, E. V., Howell, L. P., & Green, R. (2019). Artificial intelligence and machine learning in pathology: the present landscape of supervised methods. *Academic pathology*, 6, 2374289519873088.
- ❖ Recht, M. P., Dewey, M., Dreyer, K., Langlotz, C., Niessen, W., Prainsack, B., & Smith, J. J. (2020). Integrating artificial intelligence into the clinical practice of radiology: challenges and recommendations. *European radiology*, 1-9.
- ❖ Rich, E. (1985). Artificial intelligence and the humanities. *Computers and the Humanities*, 117-122.
- ❖ Rodríguez-Ruiz, A., Krupinski, E., Mordang, J. J., Schilling, K., Heywang-Köbrunner, S. H., Sechopoulos, I., & Mann, R. M. (2019). Detection of breast

cancer with mammography: effect of an artificial intelligence support system. *Radiology*, 290(2), 305-314.

- ❖ Scarcello, F. (2018). Artificial Intelligence. Reference Module in Life Sciences. In Ranganathan S. (Ed). Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology (pp. 287-293), Elsevier.
- ❖ Sechopoulos, I., & Mann, R. M. (2020). Stand-alone artificial intelligence-The future of breast cancer screening?. *The Breast*, 49, 254-260.
- ❖ Sechopoulos, I., Teuwen, J., & Mann, R. (2020, June). Artificial intelligence for breast cancer detection in mammography and digital breast tomosynthesis: State of the art. In *Seminars in Cancer Biology*. Academic Press.
- ❖ Sit, C., Srinivasan, R., Amlani, A., Muthuswamy, K., Azam, A., Monzon, L., & Poon, D. S. (2020). Attitudes and perceptions of UK medical students towards artificial intelligence and radiology: a multicentre survey. *Insights into imaging*, 11(1), 14.
- ❖ Strohm, L., Hehakaya, C., Ranschaert, E. R., Boon, W. P., & Moors, E. H. (2020). Implementation of artificial intelligence (AI) applications in radiology: hindering and facilitating factors. *European radiology*, 30, 5525-5532.
- ❖ Tajaldeem, A., & Alghamdi, S. (2020). Evaluation of radiologist's knowledge about the Artificial Intelligence in diagnostic radiology: a survey-based study. *Acta Radiologica Open*, 9(7), 2058460120945320.
- ❖ Tajmir, S. H., & Alkasab, T. K. (2018). Toward augmented radiologists: changes in radiology education in the era of machine learning and artificial intelligence. *Academic radiology*, 25(6), 747-750.
- ❖ Thrall, J. H., Li, X., Li, Q., Cruz, C., Do, S., Dreyer, K., & Brink, J. (2018). Artificial intelligence and machine learning in radiology: opportunities, challenges, pitfalls, and criteria for success. *Journal of the American College of Radiology*, 15(3), 504-508.
- ❖ Van Hoek, J., Huber, A., Leichtle, A., Härmä, K., Hilt, D., von Tengg-Kobligk, H., & Poellinger, A. (2019). A survey on the future of radiology among radiologists, medical students and surgeons: students and surgeons tend

to be more skeptical about artificial intelligence and radiologists may fear that other disciplines take over. *European journal of radiology*, 121, 108742.

- ❖ van Wijngaarden, P., Scheetz, J., Rothschild, P., McGuinness, M., Hadoux, X., Soyer, H. P., & Keel, S. (2020). Perceptions of Artificial Intelligence in Medicine: A Survey of Ophthalmologists, Dermatologists, Radiologists and Radiation Oncologists.
- ❖ Wang, S., & Huang, T. (2019). Applications of Deep Learning in Biomedicine. Reference Module in Biomedical Sciences.
- ❖ Wang, Y., Lu, L., Cheng, C. T., Jin, D., Harrison, A. P., Xiao, J., & Miao, S. (2019, October). Weakly supervised universal fracture detection in pelvic x-rays. In *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention* (pp. 459-467). Springer, Cham.
- ❖ Waymel, Q., Badr, S., Demondion, X., Cotten, A., & Jacques, T. (2019). Impact of the rise of artificial intelligence in radiology: what do radiologists think?. *Diagnostic and interventional imaging*, 100(6), 327-336.
- ❖ Weisberg, E. M., & Fishman, E. K. (2020). Developing a curriculum in artificial intelligence for emergency radiology. *Emergency Radiology*, 27(4), 359-360.
- ❖ Zhu, Z., Xia, Y., Xie, L., Fishman, E. K., & Yuille, A. L. (2019, October). Multi-scale coarse-to-fine segmentation for screening pancreatic ductal adenocarcinoma. In *International conference on medical image computing and computer-assisted intervention* (pp. 3-12). Springer, Cham.
- ❖ Zoga, A., & Syed, A. (2018). *Artificial Intelligence in Radiology: Current Technology and Future Directions*. *Seminars in Musculoskeletal Radiology*, 22(05), 540–545.
- ❖ Zou, J., Huss, M., Abid, A., Mohammadi, P., Torkamani, A., & Telenti, A. (2019). A primer on deep learning in genomics. *Nature genetics*, 51(1), 12-18.

Παράρτημα Ι – Ερωτηματολόγιο έρευνας

ΜΕΡΟΣ Α : ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ – ΕΡΓΑΣΙΑΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Φύλο	<input type="checkbox"/> Άρρεν <input type="checkbox"/> Θήλυ
Ηλικία	<input type="checkbox"/> 25-35 ετών <input type="checkbox"/> 36-45 ετών <input type="checkbox"/> >45 ετών
Εργασία (που εργάζεστε)	<input type="checkbox"/> Πανεπιστημιακό νοσοκομείο <input type="checkbox"/> Περιφερειακό νοσοκομείο/στρατιωτικό νοσοκομείο <input type="checkbox"/> Εξειδικευμένο νοσοκομείο <input type="checkbox"/> Ιδιωτική κλινική/Ιδιωτικό διαγνωστικό κέντρο <input type="checkbox"/> Ιδιωτικό ιατρείο <input type="checkbox"/> Κέντρο υγείας/ιατρείο ΕΟΠΠΥ
Έτη συνολικής προϋπηρεσίας ως ακτινολόγος	<input type="checkbox"/> 0-5 έτη <input type="checkbox"/> 6-11 έτη <input type="checkbox"/> > 12 ετών
Υποτομέας πρακτικής	<input type="checkbox"/> Ακτινολογία μυοσκελετικού συστήματος <input type="checkbox"/> Ακτινολογία θώρακα <input type="checkbox"/> Ακτινολογία πεπτικού συστήματος <input type="checkbox"/> Νευροακτινολογία <input type="checkbox"/> Ακτινολογία ουροποιητικού συστήματος <input type="checkbox"/> Ακτινολογία καρδιαγγειακού συστήματος <input type="checkbox"/> Παιδιατρική ακτινολογία <input type="checkbox"/> Επεμβατική ακτινολογία <input type="checkbox"/> Επείγουσα ακτινολογία <input type="checkbox"/> Ακτινολογία κεφαλής –τραχήλου <input type="checkbox"/> Ακτινολογία μαστού
Πόλη/περιοχή εργασίας

**ΜΕΡΟΣ Β: ΓΝΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ**

1. Γνωρίζετε τι είναι η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση;

Ναι	Όχι

2. Είστε εξοικειωμένος, -η με την τεχνητή νοημοσύνη/ μηχανική μάθηση και τις εφαρμογές της στην ιατρική απεικόνιση;

Ναι	Όχι	Ναι και έχω λάβει εκπαίδευση

3. Έχετε προηγούμενη ή ενεργό συμμετοχή στην έρευνα γύρω από την εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην ιατρική απεικόνιση;

Ναι, και με ενδιαφέρει	Ναι, αλλά δεν με ενδιαφέρει πλέον	Όχι, αλλά θα με ενδιέφερε	Όχι και δεν με ενδιαφέρει

4. Πόσα επιστημονικά άρθρα έχετε διαβάσει τους τελευταίους 6 μήνες για την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στην ιατρική απεικόνιση;

Κανένα	1-5	5-10	> 10

5. Χρησιμοποιείται λογισμικό τεχνητής νοημοσύνης/μηχανικής μάθησης στην εργασία σας ως ακτινολόγος;

Ναι	Όχι

6. Ποιους από τους παρακάτω επιμέρους τομείς της ακτινολογίας, πιστεύετε ότι θα επηρεάσει η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση στα επόμενα δέκα χρόνια; Επιλέξτε μέχρι πέντε απαντήσεις.

Ακτινολογία μυοσκελετικού συστήματος	
Ακτινολογία θώρακα	
Ακτινολογία πεπτικού συστήματος	
Νευροακτινολογία	
Ακτινολογία ουροποιητικού συστήματος	
Ακτινολογία καρδιαγγειακού συστήματος	
Παιδιατρική ακτινολογία	
Επεμβατική ακτινολογία	
Επείγουσα ακτινολογία	
Ακτινολογία κεφαλής –τραχήλου	
Ακτινολογία μαστού	

**ΜΕΡΟΣ Γ:ΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΣΤΗΝ ΙΑΤΡΙΚΗ
ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ**

	Διαφωνώ Απόλυτα	Διαφωνώ	Ουδέτερος/-η	Συμφωνώ	Συμφωνώ Απόλυτα
7. Στο μέλλον, σκοπεύω να ενισχύσω τις γνώσεις μου/εκπαίδευση γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση για τη βελτίωση της απόδοσης μου					
8. Στο μέλλον, θα επιθυμούσα να ασχοληθώ με την έρευνα γύρω από τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης / μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία					
9. Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα απαρχαιώσει την εργασία μου/ θα αντικαταστήσει τους ακτινολόγους					
10. Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα αλλάξει δραστικά και θα φέρει επανάσταση στην ακτινολογία σε 10 χρόνια					
11. Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα πρέπει να ενταχθεί στο πρόγραμμα σπουδών των ακτινολόγων					
12. Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα αυξήσει τις ευκαιρίες απασχόλησης για τους ακτινολόγους					
13. Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα μειώσει τον φόρτο εργασίας των ακτινολόγων					
14. Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα καταστήσει το προφίλ του ακτινολόγου πιο τεχνικό					
15. Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα αλλάξει τη σχέση μεταξύ του ακτινολόγου και του ασθενούς					

Παράρτημα II – Πίνακες συχνοτήτων ανάλυσης

Item-Σύνολο Statistics				
	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Σύνολο Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted
Στο μέλλον, σκοπεύω να ενισχύσω τις γνώσεις μου/εκπαίδευση γύρω από την τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση για τη βελτίωση της απόδοσής μου	27,9571	23,782	,492	,750
Στο μέλλον, θα επιθυμούσα να ασχοληθώ με την έρευνα γύρω από τις εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης / μηχανικής μάθησης στην ακτινολογία	28,2000	23,212	,475	,751
Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα απαρχαιώσει την εργασία μου/θα αντικαταστήσει τους ακτινολόγους	29,6357	25,097	,189	,795
Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα αλλάξει δραστικά και θα φέρει επανάσταση στην ακτινολογία σε 10 χρόνια	28,2000	22,578	,559	,739
Η τεχνητή νοημοσύνη/μηχανική μάθηση θα πρέπει να ενταχθεί στο πρόγραμμα σπουδών των ακτινολόγων	28,0286	22,460	,615	,733
Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα αυξήσει τις ευκαιρίες απασχόλησης για τους ακτινολόγους	28,7857	23,594	,371	,766

Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα μειώσει τον φόρτο εργασίας των ακτινολόγων	28,5500	21,976	,600	,732
Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα καταστήσει το προφίλ του ακτινολόγου πιο τεχνικό	28,8643	22,622	,492	,748
Η τεχνητή νοημοσύνη στο μέλλον θα αλλάξει τη σχέση μεταξύ του ακτινολόγου και του ασθενούς	28,9786	21,920	,430	,760

Πίνακας 6. Πίνακας μεταβολών του συντελεστή αξιοπιστίας Cronbach's Alpha - Στάσεις για τη τεχνητή νοημοσύνη στην ιατρική απεικόνιση

		Count	Column N %
Πόλη/περιοχή εργασίας	---	3	2,14%
	Αθήνα	47	33,57%
	Αμερική Σπάρτη Αθήνα	1	0,71%
	Ανατολικό Αιγαίο	1	0,71%
	Άργος	1	0,71%
	Αργυρούπολη	1	0,71%
	Αττική	4	2,86%
	Βέροια	5	3,57%
	Βόλος	1	0,71%
	Βορειοανατολικό Αιγαίο	1	0,71%
	Δυτική Αθήνα	1	0,71%
	Δυτική Ελλάδα	1	0,71%
	Έδεσσα	1	0,71%
	Επαρχεία	1	0,71%
	Ηράκλειο Κρήτης	15	10,71%
	Θεσσαλονίκη	10	7,14%
	Ιόνια νησιά	1	0,71%
	Ιωάννινα	2	1,43%
	Καβάλα	1	0,71%
	Κατερίνη	2	1,43%
	Κοζάνη	1	0,71%
	Κόρινθος	1	0,71%
	Κύμη Ευβοίας	2	1,43%
	Κύπρος	2	1,43%
	Λαμία	1	0,71%
	Λάρισα	1	0,71%
	Λέσβος	2	1,43%
	Λιβαδειά	1	0,71%

Μακεδονία	1	0,71%
Μύκονος	1	0,71%
Νάουσα	1	0,71%
Νέα Σμύρνη	1	0,71%
Νίκαια	1	0,71%
Ξάνθη	1	0,71%
Παλλήνη	1	0,71%
Πάτρα	7	5,00%
Πειραιάς	5	3,57%
Ρόδος	1	0,71%
Σέρρες	2	1,43%
Σίφνος	1	0,71%
Σπάρτη	1	0,71%
Σύρος	1	0,71%
Τήνος	1	0,71%
Τρίκαλα	1	0,71%
Φωκίδα	1	0,71%
Zurich	1	0,71%
Σύνολο	140	100,00%

Πίνακας 7. Πίνακας συχνοτήτων - Δημογραφικά χαρακτηριστικά - Πόλη/περιοχή εργασίας

«Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του

N.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης»